

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ – УПИ»

**А.Д. Выварец, И.С. Белик, Н.В. Степанова,  
Ю.В. Леонтьева, Н.Л. Никулина**

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ**

Екатеринбург

2006

УДК 504.3.054:628.395  
ББК 26.23  
О-93

Рецензенты: д-р экон. наук, проф. Института экономики УрО РАН  
А.А. Куклин;  
д-р экон. наук, проф. УрГУПС С.В. Рачек

Авторы: А.Д. Выварец, И.С. Белик, Н.В. Степанова, Ю.В. Леонтьева,  
Н.Л. Никулина

О-93 Оценка загрязнения атмосферы промышленными выбросами:  
монография / А.Д. Выварец, И.С. Белик, Н.В. Степанова, Ю.В. Леонтьева,  
Н.Л. Никулина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 108 с.

ISBN

Монография посвящена исследованию проблем моделирования воздействия промышленных объектов на загрязнение атмосферы, социально-экономическому обоснованию и оценке приемлемого уровня экологической безопасности в разрезе регионов и муниципальных образований. В работе проведен анализ социально-экономического развития и экологического состояния Свердловской области. На основе разработанной методики диагностики экологической безопасности определены показатели, характеризующие экологическое состояние Свердловской области. Рассчитан уровень риска преждевременной смерти от загрязнения атмосферы выбросами бензапирена и мелкодисперсной пыли, дана стоимостная оценка риска здоровью населения.

Монография рассчитана на государственных служащих всех уровней, практических работников и научных сотрудников, занимающихся проблемами устойчивого развития территорий Российской Федерации.

Исследования проводились при финансовой поддержке Правительства Свердловской области и Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ-Урал № 04-06-96045)

Библиогр.: 42 назв. Табл. 29. Рис. 8. Прил. 10.

УДК 504.3.054:628.395  
ББК 26.23

ISBN

© ГОУ ВПО «Уральский государственный  
технический университет – УПИ», 2006  
© А.Д. Выварец, И.С. Белик, Н.В. Степанова,  
Ю.В. Леонтьева, Н.Л. Никулина, 2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. ОЦЕНКА И ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНА.....</b>	<b>5</b>
1.1. Диагностическая картина состояния экологической и социально-экономической безопасности Уральского федерального округа.....	6
1.2. Подходы и методика оценки экологической безопасности региона и муниципальных образований.....	19
1.3. Текущая и перспективная оценка состояния экологической безопасности Свердловской области.....	35
<b>2. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРУ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....</b>	<b>40</b>
2.1. Моделирование техногенного воздействия отраслей промышленности на загрязнение атмосферы.....	40
2.2. Трендовые модели прогнозирования. Основные результаты вычислений.....	44
<b>3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ.....</b>	<b>59</b>
3.1. Методы оценки воздействия загрязнения атмосферы на здоровье населения.....	59
3.2. Экономическая оценка воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения .....	67
3.3. Расчеты уровня популяционного риска от выбросов в атмосферу для муниципальных образований (на примере г. Екатеринбурга и г. Сухого Лога от бензапирена и мелкодисперсной пыли).....	75
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>86</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>87</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>92</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы управления воздействием промышленных объектов на загрязнение атмосферы выбросами в теоретико-методическом аспекте требует разработки технологий оценки состояния окружающей среды (ОС) и динамики изменения эколого-экономической ситуации, а также постановки задач, связанных с эколого-математическим моделированием и применением трендовых моделей прогнозирования. Моделирование и прогноз, как основные инструменты системы управления воздействием промышленных объектов на загрязнение атмосферы, позволяют не только вырабатывать сценарии и варианты эколого-экономического развития, но и определять предельный уровень загрязнения воздуха через оптимум целевой функции.

В последнее десятилетие расширение рамок системы управления охраной ОС за счет включения в нее блока экологической безопасности потребовало решения многих методических, нормативно-правовых, информационных проблем. Одна из которых состоит в методическом обеспечении диагностики экологической безопасности и оценке ее состояния для ранжирования неблагоприятных территорий и определения приоритетов их развития.

В работе проанализирована динамика социально-экономического и экологического развития Свердловской области. С целью изучения влияния техногенной нагрузки на уровень экологической безопасности региона была разработана методика оценки состояния экологической безопасности территории и ее муниципальных образований и исследовано воздействие загрязнения атмосферы на здоровье людей. Для решения последней проблемы использовались стандартные и авторские методики оценки риска здоровью населения. По результатам исследования получены показатели, характеризующие уровень риска преждевременной смерти от загрязнения атмосферы выбросами бензапирена и мелкодисперсной пыли, и стоимостная оценка риска.

## **1. ОЦЕНКА И ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНА**

Данные официальной статистики и Государственного доклада о состоянии окружающей среды в Свердловской области свидетельствуют о том, что тенденция роста антропогенной нагрузки на атмосферу продолжает оставаться основной угрозой для природной и хозяйственной среды региона. В наиболее явном виде это проявляется в увеличении доли естественных экосистем с выраженной неспособностью к самовосстановлению, в ухудшении качества среды проживания населения. Косвенным образом факт увеличения уровня загрязнения природной среды подтверждается и социологическими исследованиями, которые фиксируют наблюдаемый рост затрат населения области на лечение и профилактику заболеваемости от неблагоприятного воздействия факторов измененной окружающей среды. По мнению социологов, выявленная положительная динамика повышения затрат будет усугубляться в результате усиления не только техногенной нагрузки на ОС, но и отсутствия компенсационных механизмов. Таким образом, напряженная экологическая ситуация и угрозы, связанные с ее осложнением, все в большей степени будут приводить к нежелательным последствиям в социальной и хозяйственной жизни общества.

Диагностика и анализ экологического и социально-экономического состояния безопасности региона позволяют получить не только информацию о текущей ситуации и качестве окружающей среды, вскрыть угрозы и последствия, выявить причинно-следственные связи, позволяющие выработать приоритеты в природоохранной политике и природопользовании, но и оценить уровень кризисности территории. В работе предлагается следующий порядок оценки экологической и социально-экономической безопасности:

- 1) расчет экономической и социальной безопасности территории выполняется с использованием методики ИЭ УрО РАН – «Комплексная

методика диагностики экономической безопасности территориальных образований РФ»;

2) для расчета уровня экологической безопасности разрабатывается самостоятельный модуль оценки экологической безопасности территории, включающий классификацию угроз и последствий, систему описательных и оценочных индикаторов и обоснование их пороговых значений.

При разработке модуля экологической безопасности возникли проблемы, связанные с формированием представительной системы индикативных показателей, отражающих действие всех основных угроз, и с определением их пороговых значений. С этой целью были сформированы методические рекомендации [19], на основе которых разработана методика оценки экологической безопасности региона, приводимая во втором разделе настоящей главы.

### **1.1. Диагностическая картина состояния экологической и социально-экономической безопасности Уральского федерального округа**

Оценку экологической безопасности региона можно производить с помощью индикаторов эколого-экономического развития, сводного индекса техногенных нагрузок и др. Классификация методологических подходов к оценке экологической безопасности приведена в табл. 1, где указываются признаки, по которым произведена классификация, авторы и краткая характеристика предлагаемых методологических подходов.

С целью отражения динамики изменения социально-экономической и экологической ситуации в Уральском федеральном округе (УрФО) использованы официальные статистические сборники, государственные доклады о состоянии окружающей природной среды, подготовленные комитетами по охране природы РФ областей УрФО [10, 11, 25, 27-29, 32].

Таблица 1

**Классификация методологических подходов  
к оценке экологической безопасности**

Признак	Авторы подхода	Предлагаемые критерии
<b>Экологическая безопасность различных уровней административно-хозяйственной организации</b>		
Национальный	ЮНЕП	Показатели качества жизни и экологической устойчивости
	Василенко В.Н.	Индекс устойчивого развития общества
	Организация по экономическому сотрудничеству и развитию	Индикаторы давления на окружающую среду, индикаторы состояния окружающей среды, индикаторы реакции
	Федотов А.П.	Индекс антропогенной нагрузки
Региональный	Выварец А.Д., Белик И.С. и др.	Интегральный индикатор эколого-экономического развития
	«Критерии оценки экологической обстановки...» Минприроды России 30.11.92 г.	Медико-демографические критерии (заболеваемость, детская смертность, медико-генетические нарушения и др.), критерии загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы, ионизирующее излучение
	Бабина Ю.В., Михайлова Н.Д.	Сводный индекс техногенных нагрузок
Муниципальное образование	Яндыганов Я.Я., Власов Е.Я., Васильева Л.Д. и др.	Комплексная категория здоровья окружающей среды и населения
	Сидорчук В.Л., Давыдова Р.Т.	Комплекс индикаторов качества окружающей среды города, построенный на методах математической статистики
Предприятие	Мартынов А.С. и др.	Энергопотребление и разнообразие производственных процессов
<b>Экологическая безопасность сфер природной среды</b>		
Атмосфера	Гусев А.А.	Индекс качества природной среды
Гидросфера	Тихомиров Н.П.	Индекс экологического качества
Литосфера, почва		
<b>Экологическая безопасность объекта</b>		
Территория	Акимова Т.А., Хаскин В.В.	Соизмерение природных и техногенных потенциалов
Экосистема	Быков А.А., Мурзин Н.В.	Биологический, экологический, ландшафтный критерии безопасности
Человек	Быков А.А., Мурзин Н.В.	Функция здоровья

Динамика основных показателей, характеризующих социально-экономическое развитие УрФО в 1999 – 2004 гг., приведена в табл. 2. Данные показатели свидетельствуют о том, что наиболее острая фаза кризиса и спада производства (1998 г.) в экономике пройдена и наблюдается постепенное развитие с наращиванием объемов производства. В 2004 г. в УрФО объемы промышленного производства выросли на 7,9 %, объемы продукции сельского хозяйства уменьшились на 4 %. В бюджетно-финансовой сфере сохраняются последствия кризиса неплатежей. Они выражаются в огромных объемах накопленных задолженностей предприятий и организаций. Так, по состоянию на конец 2004 г. кредиторская задолженность крупных и средних предприятий составила 1123348 млн. руб., из нее просроченной, – 189796 млн. руб. Между тем дебиторская задолженность предприятий и организаций составляет 850786 млн. руб., т.е. имеет место превышение кредиторской задолженности над дебиторской в 1,32 раза в абсолютном выражении.

Индикатором благополучности положения населения территории служит показатель его естественного прироста. Если на территории достаточно высокий и стабильный уровень жизни населения, то показатель естественного прироста, как правило, достаточно высок. Если же, наоборот, в экономике и социальной сфере территории проявляются кризисные явления, связанные с оттоком населения в результате миграции (трудоизбыточные депрессивные регионы, структурная безработица) или со снижением уровня доходов и низкой социальной защищенностью, то данный показатель зачастую имеет отрицательное значение, т.е. преобладают процессы не прироста, а убыли населения. На территории УрФО наблюдается убыль населения. Данный факт подтверждает неблагополучие социальной обстановки на территории УрФО и свидетельствует о нарастании угроз как социальной, так и экономической безопасности территории.



Таблица 2

**Социально-экономическое положение УрФО  
на современном этапе (1999 – 2004 гг.)**

Показатели	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Экономический рост</b>						
Валовой региональный продукт, млн. руб.	562494,2	936602,9	1209704,0	1421572,4	-	-
на душу населения, руб.	44541,5	74431,3	96456,1	113781,3		
Индекс физического объема промышленного производства, в % к предыдущему году	-	111	106	106	109,5	107,9
Индекс физического объема продукции сельского хозяйства, в % к предыдущему году	-	96,6	107	98,2	104,7	96,0
Индекс физического объема инвестиций в основной капитал, в % к предыдущему году	115,8	153,4	120,2	95,7	106,1	98,7
<b>Финансовая стабильность</b>						
Кредиторская задолженность, млн. руб., в том числе просроченная, млн. руб.	-	-	-	798155 217867	926066,8 238575	1123348 189796
Дебиторская задолженность, млн. руб., в том числе просроченная, млн. руб.	-	-	-	533739 173547	572678,4 156061,6	850786 147331
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) деятельности организаций, в разгах к предыдущему году	3,9	1,8	0,9	0,8	1,07	-
<b>Занятость и безработица</b>						
Численность экономически активного населения, тыс. чел., в том числе занятые в экономике, тыс. чел.	6399 5606	6361 5736	6260 5686	6310 5795	6523 6029,7	-
Уровень безработицы, %	12,4	9,8	9,2	8,2	7,5	-

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
<b>Уровень жизни населения</b>						
Среднедушевые денежные доходы, руб./мес.	1827	2724	3790	4665	5971,8	7188
Реальные денежные доходы, в % к предыдущему году	-	-	112	107	-	-
<b>Демографические показатели</b>						
Среднегодовая численность населения, тыс. чел.	12629	12584	21542	12495	12338,5	12297,4
Коэффициент рождаемости, на 1000 чел. населения	8,8	9,1	9,7	10,6	11,0	11,4
Коэффициент смертности, на 1000 чел. населения	13,3	14,3	14,2	14,9	15,1	14,7
Естественный прирост (убыль), на 1000 чел.	-4,5	-5,2	-4,5	-4,3	-4,1	-3,3

Показатели социально-экономического развития УрФО в разрезе субъектов Российской Федерации по итогам 2004 г. (табл. 3) свидетельствуют о наличии угроз экономической безопасности в финансовой (значительное превышение кредиторской задолженности над дебиторской), социальной (в Курганской, Свердловской и Челябинской областях – естественная убыль населения, высокий уровень заболеваемости, преступность по сравнению с общероссийскими показателями) сферах.

Особую тревогу вызывает экологическое состояние территорий УрФО. Экологическая обстановка, сложившаяся в пределах территорий автономных округов и областей УрФО, определяется, с одной стороны, спецификой местных природно-климатических условий, а с другой – характером и масштабом воздействий на окружающую природную среду хозяйствующих субъектов отраслей экономики.

Территориальная структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников приведена в табл. 4. Валовые выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников по УрФО за последние

Таблица 3

Социально-экономические показатели субъектов, входящих в УрФО, в 2004 г.

Показатели	УрФО	Курганская обл.	Свердловская обл.	Тюменская обл.	ХМАО	ЯНАО	Челябинская обл.
1	2	3	4	5	6	7	8
Объем промышленного производства, млн. руб., в % к итогу по РФ	1988412 21,2	26473 0,3	395416 4,2	1195931 12,8	878152 9,4	279435 3,0	370592 3,9
Индекс физического объема промышленного производства, в % к 2002 г.	107,9	109,1	109,6	108,3	110,5	105,6	104,6
Выпуск сельскохозяйственной продукции, млн. руб., в % к итогу по РФ	87013 6,4	12233 0,9	26345 1,9	24566 1,8	3201 0,2	582 0,0	23868 1,7
Индекс физического объема продукции сельского хозяйства, в % к 2002 г.	96,0	89,2	99,8	104,8	103,0	94,8	87,6
Внешнеторговый оборот, \$ млн. США, в % к итогу по РФ	15714 10,2	361 0,2	6224 4,0	3320 2,2	-	-	5810 3,8
Инвестиции в основной капитал, млн. руб.	488980	5656	69483	363632	180649	156884	50209
Индекс физического объема инвестиций в основной капитал, в % к 2002 г.	98,7	88,1	115,7	94,2	98,0	86,0	118,8
Сальдированный финансовый результат, млн. руб.	406743	1093	58089	287327	238727	37702	60234
Сумма убытков, млн. руб.	27753	1263	6943	12138	7569	2483	7409
Удельный вес убыточных предприятий, %	-	43,9	35,5	35,0	31,0	43	36,9
Кредиторская задолженность крупных и средних предприятий, млн. руб., в том числе просроченная, млн. руб.	1123348 189796	15730 6270	168866 36390	820137 106028	283087 48853	315644 48682	118616 41109
Дебиторская задолженность крупных и средних предприятий, млн. руб., в том числе просроченная, млн. руб.	850786 147331	10996 4046	133092 29593	621678 99063	342341 52825	117730 39740	85020 14628
Среднегодовая численность населения, тыс. чел.	12297,4	998,0	4438,2	3298,8	1462,8	519,2	3562,5
Численность занятых в экономике на крупных и средних предприятиях, тыс. чел., в % к итогу по РФ	3878 9,6	257 0,6	1348 3,3	1252 3,1	632 1,6	280 0,7	1022 2,5

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Численность зарегистрированных безработных. тыс. чел.	152	14	48	46	24	9	44
% к экономически активному населению	-	2,7	2,1	2,7	2,8	2,8	2,4
Денежные доходы в расчете на душу населения, в среднем руб./мес.	7188	3710	6496	11868	14448	18799	4717
Естественный прирост, убыль (-), чел.	-41005	-6904	-25767	11510	10441	4239	-19844
Заболееваемость населения инфекциями верхних дыхательных путей, тыс. случаев	2668,1	169,4	798,4	843,1	367,8	195,8	857,2
Зарегистрировано преступлений, случаев.	329248	31131	119987	96893	42799	9774	81237
на 100000 населения	2673	3101	2697	2945	2938	1897	2273

**Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу  
от стационарных источников, тыс. т**

Наименование округов и субъектов	1999	2000	2001	2002	2003
Курганская область	100	124	91	89	68
Свердловская область	1273	1471	1407	1221	1265
Тюменская область	1738	1934	2381	3359	3421
Ханты-Мансийский АО	1141	1298	1726	2554	2435
Ямало-Ненецкий АО	540	576	587	725	914
Челябинская область	977	1034	984	903	910
Уральский федеральный округ	4088	4562	4864	5571	5664

четыре года увеличились в 1,38 раза и составили в 2003 г. 5664 тыс. т. Наибольший вклад в суммарные выбросы загрязняющих веществ вносят предприятия Ханты-Мансийского АО (43 %), Свердловской области (22 %) и Ямало-Ненецкого АО (16 %).

Актуальными остаются проблемы, связанные с загрязнением и нерациональным использованием водных ресурсов. Качество воды большинства водных объектов не отвечает нормативным требованиям, они заилены донными отложениями. Состояние водных объектов области напрямую зависит от хозяйственной деятельности человека, огромное влияние на реки и озера при этом оказывают сточные воды предприятий. Сохраняется высокий уровень загрязненности водных объектов УрФО. В «приоритетный список» рек России включены как сильнозагрязненные следующие реки: Миасс, Исеть, Тура, Салда, Тагил, Нейва, Пышма, Урал. Чрезвычайно высоким уровнем загрязненности поверхностных вод характеризуется Свердловская область. Так, в данном регионе 63 % створов гидрохимических наблюдений оценивалось в 1999 г. как очень грязная вода, 33 % – чрезвычайно грязная,

3 % – грязная и только 1 % – умеренно грязная. Качество реки Обь и ее притоков на протяжении ряда лет оценивается в широком диапазоне – от слабо загрязненной до чрезвычайно загрязненной. Наиболее распространенными веществами, загрязняющими поверхностные воды УрФО, остались нефтепродукты, фенолы, легко окисляемые (по БПК 5), соединения металлов, аммонийный и нитратный азот.

В табл. 5 приведена динамика использования свежей воды на территории УрФО в разрезе субъектов Российской Федерации. Первое место по употреблению свежей воды занимает Тюменская область вместе с автономными округами. В Тюменской области в 2004 г. использовано 1230 млн. м<sup>3</sup> свежей воды. Это составляет 34 % от общего объема свежей воды по УрФО.

Таблица 5

Использование свежей воды в УрФО, млн. м<sup>3</sup> (1999 – 2003 гг.)

Наименование округов и субъектов	1999	2000	2001	2002	2003
Курганская обл.	3785	4055	3980	3777	3569
Свердловская обл.	85	84	82	74	68
Тюменская обл.	1616	1678	1635	1594	1230
Ханты-Мансийский АО	1217	1412	1391	1271	1459
Ямало-Ненецкий АО	673	876	847	721	909
Челябинская обл.	166	160	157	166	171
Уральский федеральный округ	867	873	872	838	812

Необходимо отметить еще одну сложную проблему, связанную с утилизацией и захоронением отходов производства и потребления.

В табл. 6 приведены данные об образовании, использовании и размещении отходов производства и потребления в УрФО за 2002 г. В настоящее время на территории УрФО накоплено порядка 12 млрд. т отходов, в том числе токсичных около 400 млн.т. Лидирующее место по образованию всех видов отходов принадлежит Свердловской области (67 %), а по наличию и

образованию токсичных отходов – Челябинской область. Процент использования и обезвреживания отходов колеблется по округам и областям УрФО.

Особенно большую опасность представляют отходы в старых промышленных регионах с интенсивно развивающейся горной, металлургической, металлообрабатывающей, химической и другими видами промышленности. Для нефтедобывающих регионов большую долю (до 70 %) составляют отходы бурения и нефтесодержащие отходы. Повсеместно остро стоит проблема захоронения отходов на полигонах, отвечающих экологическим требованиям. Зачастую они размещаются на свалках, которые эксплуатируются с нарушением правил.

Таблица 6

Движение отходов производства и потребления в 2002 г., млн. т

Наименование округов и субъектов	Наличие на начало года	Образование		Использование	Размещено	
		всего	в т.ч. токсичные		всего	в т.ч. токсичные
Курганская обл.	0,25	0,73	0,07	0,32	0,37	0,03
Свердловская обл.	8020,00	156,00	8,60	62,30	97,70	0,74
Тюменская обл.	-	2,12	0,01	1,38	-	-
ХМАО	5,46	1,86	1,78	-	1,10	-
ЯНАО	0,21	0,88	0,28	0,20	-	-
Челябинская обл.	4000,00	81,60	18,00	29,70	52,10	5,98
УрФО	12025,92	243,19	28,74	93,90	151,27	6,75

К числу критических факторов, усугубляющих экологическую обстановку, относятся деградация лесов, трансформация естественных ландшафтов, деградация некоторых видов растительного и животного мира.

Рассмотренные данные по основным видам воздействия хозяйственного комплекса на окружающую среду свидетельствуют о том, что экологическая

обстановка в УрФО остается напряженной. Регион занимает первое место в России по объему выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников.

Анализ экологической обстановки в Свердловской области, где воздействие чрезвычайно высоких техногенных нагрузок обуславливает сверхнормативное загрязнение всех компонентов биосферы, необходимо выполнить в более развернутом виде.

Одним из основных факторов, определяющих остроту экологической ситуации в Свердловской области, является преобладание на ее территории таких экологически опасных отраслей промышленности, как горнодобывающая, черная и цветная металлургия, электроэнергетика. Активное использование энергоемких и ресурсоемких технологий, высокая степень моральной и физической изношенности основных производственных фондов, нехватка эффективных очистных установок [13] и т.д. – это не полный перечень ведущих факторов, формирующих масштабы негативного воздействия на окружающую среду за последние десятилетия в Свердловской области. «Вклад» каждой отрасли в общее загрязнение наглядно иллюстрируют данные, представленные в табл. 7 – 9 [3, 13].

Статистическая информация свидетельствует о ежегодном снижении абсолютных показателей объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты. Но наблюдаемая тенденция не является результатом активности действий системы охраны окружающей среды и рационального природопользования, так как снижение массы загрязнения достигается за счет сокращения объемов производства в природоэксплуатирующих отраслях.

Особую тревогу вызывает образование и накопление отходов, содержащих токсичные вещества (табл. 9). Из общего объема образовавшихся токсичных отходов используется и обезвреживается в производстве 36,2 %. Остальная часть отходов накапливается в хранилищах, накопителях, полигонах,



свалках и других объектах и оказывает опасное воздействие на окружающую природную среду, создает угрозу жизни и здоровью человека.

Ухудшение состояния окружающей природной среды сказывается, прежде всего, на здоровье населения, снижении его жизненного уровня, а также ограничивает возможности экономического и социального развития крупных промышленных регионов и городов. Намотившийся в последние годы рост промышленного производства в особенности в наиболее «грязных» отраслях требует принятия безотлагательных мер по недопущению роста выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и ухудшения экологической ситуации.

Таблица 7

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Свердловской области по годам, тыс. т

Наименование отрасли	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Всего по отраслям	1393,0	1409,3	1238,5	1320,6	1507,9	1407,0	1221,1	1265,0	1270,3
Электроэнергетика	375,9	419,9	454,5	433,0	574,2	551,2	413,1	479,6	425,9
Черная и цветная металлургия	767,5	674,7	555,6	584,4	629,8	599,2	584,9	564,6	558,4
Машиностроение, металлообработка	40,7	40,7	37,5	36,0	36,5	31,5	25,6	21,7	23,5
Хим. и нефтехим. промышленность	10,7	12,0	12,3	12,4	10,9	4,2	3,6	3,3	6,9
Промышленность стройматериалов	52,9	50,8	45,3	46,1	44,7	44,2	43,9	41,5	51,7
Деревообаб. и целлюлозно-бум. промышленность	19,1	17,4	14,3	13,8	12,2	9,3	8,9	6,6	7,2

Таблица 8

## Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы

Свердловской области по годам, млн. м<sup>3</sup>

Наименование отрасли	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Жилищно-коммунальное хозяйство	375,9	430,8	472,2	454,4	434,6	435,0	434,2	487,8	459,36
Сельское хозяйство	-	3,98	3,92	3,14	2,92	2,23	2,30	1,80	1,21
Промышленность	-	402,3	360,6	364,0	306,0	337,7	369,9	370,0	360,86
Всего	878,0	827,0	842,0	836,0	826,0	818,0	816,4	869,2	828,3

Таблица 9

## Образование токсичных отходов в Свердловской области, тыс. т

Наименование отрасли	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Черная и цветная металлургия	-	-	7230	2948	2700	4144	-	5566,7	11389
Машиностроение, металлообработка	-	139	195	185	224	154	-	109,6	139,2
Хим. и нефтехим. промышленность	-	37	11	14	12	63	-	51,8	59,3
Промышленность стройматериалов	-	179	180	149	32	208	-	619,5	53,5
Деревообаб. и целлюлозно-бум. промышленность	-	7,0	19,0	2,0	1,5	0,4	-	141,5	145,4
Всего	8326	7753	3305	3267	4387	4739	8555,3	7751,7	13110,3

Краткая характеристика экологического и социально-экономического состояния УрФО требует дальнейшего более полного анализа ситуации, что невозможно реализовать без технологии оценки экологической безопасности региона. Разработка методики оценки является частью процесса обоснования

экологической безопасности и может быть применена в диагностике социально-экономического и экологического состояния территории.

## 1.2. Подходы и методика оценки экологической безопасности региона и муниципальных образований

На рис. 1 рассмотрен порядок оценки экологической и социально-экономической безопасности региона.



Рис. 1. Порядок оценки экологической безопасности

В соответствии с представленной последовательностью оценки на последнем этапе определяется уровень экологической безопасности региона путем сравнения текущих (фактических) значений показателей с их нормативными (регламентируемыми) значениями. Далее полученная расчетная величина оценочного индикатора сравнивается с пороговым (критическим) значением, при этом фиксируется степень ее отклонения, затем производится оценка степени опасности и отнесение по ее уровню в соответствующую группу состояния экологической безопасности.

При оценке экологической безопасности градация уровней индикативных показателей осуществляется в порядке возрастания. Превышение расчетного значения индикатора против порогового рассматривается как переход по данному показателю в качественно новую область большей опасности, что соответствует нарушению нормального функционирования системы.

Состояние экологической безопасности оценивается в последовательности, приводимой на рис. 2.

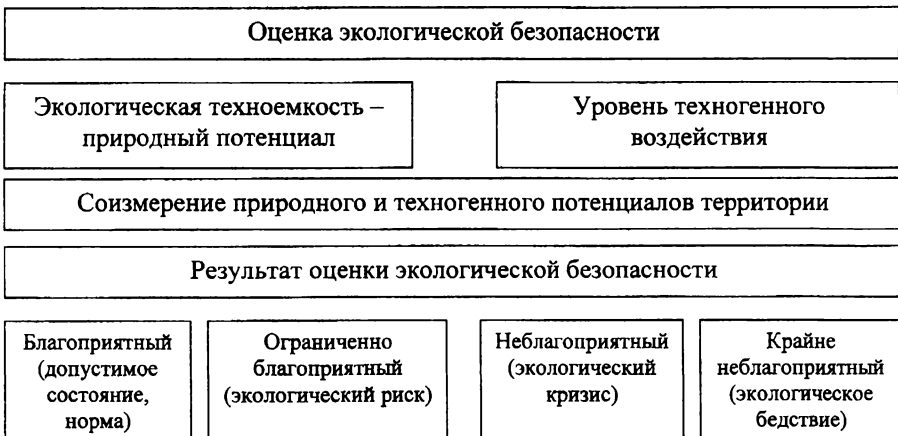


Рис. 2. Блок-схема экологической оценки территории

Расчет описательных и оценочных индикаторов и показателей экологической безопасности территории осуществляется в соответствии с представленной блок-схемой и принятым иерархическим уровнем: первоначально для региона и далее – муниципальных образований.

### *Региональный уровень*

#### Оценка экологической техноёмкости территории

Основополагающий принцип, на котором строится методика определения экологической техноёмкости территории, сводится к определению основных функций состояния экосистемы и изменчивости экологически значимых параметров. В соответствии с базовым подходом и ключевыми положениями методики, разработанной Т.А. Моисеенковой и В.В. Хаскиным [22], расчет экологической техноёмкости территории осуществляется на эмпирически подтвержденном допущении, согласно которому экологическая техноёмкость составляет долю общей экологической ёмкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеристического состава среды от естественного уровня его колебаний. Превышение этого уровня изменчивости приписывается техногенным воздействиям, достигшим предела устойчивости природного комплекса территории.

Принимая данный подход в качестве базового, в обновленную для *регионального уровня* методику предлагается внести изменения в позиции, связанные с оценкой экологической ёмкости территории и экологической техноёмкости территории.

Для *уровня муниципальных образований* (МО) – разработать на базе региональной методики новую методику определения экологической ёмкости МО и техноёмкости МО.

Так, в отмеченной методике [22] для расчета экологической ёмкости атмосферного воздуха используется параметр приведенной высоты слоя воздуха, подвергающегося техногенному загрязнению. Авторы методики не обосновывают значения данного параметра. Чтобы избежать неточности в

определении экологической емкости воздуха при наличии неопределенности при расчетах параметра, выбран другой вариант решения проблемы.

Предложено расчет экологической емкости такой среды, как атмосфера (воздух) осуществлять с привлечением не только динамической модели, но и балансовой модели воспроизводства-потребления атмосферного кислорода. В качестве исходной для разработки методики была принята модель баланса воспроизводства-потребления атмосферного кислорода Е.В. Хлобыстова [36].

В результате была разработана методика оценки экологической безопасности территории и ее муниципальных образований, которая сводится к следующим основным моментам (этапам).

#### *Уровень территории (регион)*

1. На первом этапе выделяются три загрязняемые среды обитания – воздух, вода и поверхность земли (включая биоту экосистем и совокупность реципиентов), им присваиваются порядковые номера 1, 2, 3 соответственно, и далее рассчитывается экологическая емкость каждой среды загрязнения.

1.1. Для первой среды – воздуха – экологическая емкость по предложению авторов определяется исходя из объема воспроизводства кислорода и рассчитывается по следующей формуле:

$$E_1 = \Pi_г \cdot F_1, \quad (1)$$

где  $F_1$  – скорость кратного обновления массы кислорода, год<sup>-1</sup>;

$$F_1 = \frac{55896 \cdot v}{\sqrt{S}}, \quad (2)$$

где  $v$  – годовая скорость ветра, м/с;

$S$  – площадь территории, км<sup>2</sup>;

$\Pi_г$  – объем воспроизводства кислорода, т/год;

$$\Pi_г = \sum_{i=1}^n S_i^{бгч} \cdot Y_i, \quad (3)$$

где  $S_i^{бгч}$  – площадь  $i$ -го биогеоценоза на территории, км<sup>2</sup>;

$Y_i$  – ежегодное производство кислорода  $i$ -м растительным сообществом, т/км<sup>2</sup>.

Информация для определения объема воспроизводства кислорода растительными сообществами принята по источникам [36, 38], а также ежегодно публикуемых статистических данных по Свердловской обл. [10, 11, 25].

Общий объем воспроизводства кислорода рассчитывается как сумма воспроизводства в разрезе ценозов.

#### Воспроизводство кислорода растительными сообществами

Вид биогеоценоза	Воспроизводство кислорода, т/км <sup>2</sup>
Основные лесобразующие породы	
Сосна	570
Ель	720
Пихта	510
Лиственница	480
Кедр	740
Дуб высокоствольный	650
Береза	400
Осина	420
Ольха черная	400
Ольха серая	400
Липа	420
Тополь	420
Ивы древовидные	400
Пашня	550
Пастбище	450
Водная поверхность	100

1.2. Для расчета экологической емкости водной среды и земной поверхности, т.е. главного ее компонента – биоты, используется формула, предложенная Т.А. Моисеенковой и В.В. Хаскиным [22]:

$$E_i = V_i \cdot C_i \cdot F_i, \quad (4)$$

где  $V_i$  – объем поверхностных водотоков или площадь земной поверхности, измеряемые соответственно в км<sup>3</sup> или км<sup>2</sup>:

- 1) для воды  $V_2$  – это полный среднегодовой объем всех поверхностных водоемов и водотоков территории, км<sup>3</sup>;

2) для земли  $V_3$  – это площадь, занимаемая биомассой на поверхности земли, км<sup>2</sup>;

$C_i$  – содержание главных экологически значимых субстанций в данной среде, измеряемое в т/км<sup>2</sup> или т/км<sup>3</sup> [22]:

1) для воды содержание главных экологически значимых субстанций принимается равным  $C_2 = 10^9$  т/км<sup>3</sup> [22];

2) для биомассы  $C_3$  – это плотность поверхностного распределения биомассы территории, т/км<sup>2</sup>.

$F_i$  – скорость кратного обновления объема воды или биомассы, год<sup>-1</sup>;

1) для воды [22]:

$$F_2 = \frac{(0,0315 \cdot f + 3 \cdot 10^{-6} \cdot w \cdot S)}{V_2}, \quad (5)$$

где  $f$  – сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию, м<sup>3</sup>/с;

$w$  – среднегодовое количество осадков, мм;

$S$  – площадь земной поверхности, км<sup>2</sup>;

2) для биоценозов территории [22]:

$$F_3 = \frac{P_B}{B}, \quad (6)$$

где  $P_B$  – средняя годовая продукция сухого вещества биомассы, т/год;

$B$  – среднегодовая биомасса сухого вещества, определяемая по формуле

$$B = C_3 \cdot V_3.$$

2. На втором этапе определяется уровень экологической техноемкости по каждой выделенной среде.

Оценка экологической техноемкости территории, выраженная в единицах массовой техногенной нагрузки, рассчитывается по выражению, предложенному Т.А. Моисеенковой и В.В. Хаскиным в работе [22], но без учета коэффициента  $\tau_i$ .

По мнению авторов настоящей методики, основные компоненты каждой из рассматриваемых сред используются не только на нейтрализацию (связывание и разбавление) разнообразных загрязняющих воздух химических



элементов и соединений, но и в качестве ресурса на производственное и бытовое потребление. Поэтому для территориальных образований (в данном контексте регион) вводить коэффициент перевода массы в условные тонны ( $\tau_i$ ) исходя лишь из предположения приоритетности загрязняющего вещества, выбрасываемого в воздух, на нейтрализацию которого используется основная масса кислорода воздуха, некорректно.

Учет коэффициента  $\tau_i$  может и должен быть использован при определении техноёмкости муниципального образования. В этом случае статистические данные по приоритетным видам загрязнения предоставляются данными мониторинга за ОС и, следовательно, имеют обоснованный характер.

С учетом данного авторского подхода расчетная формула для определения экологической техноёмкости территории будет выглядеть следующим образом:

$$T_3 = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (7)$$

где  $T_3$  – экологическая техноёмкость территории, усл. т/год;

$E_i$  – экологическая ёмкость  $i$ -й среды, т/год;

$X_i$  – коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде.

Данные по коэффициенту вариации отклонений характеристического состава среды от естественного уровня принимаются по [22]:

- для воздуха (естественные колебания содержания кислорода и углекислого газа в атмосферном воздухе) коэффициент вариации составляет  $X_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ ;
- для воды равнинных рек и озёр –  $X_2 = (4,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ ;
- для биоты коэффициент вариации определен как  $X_3 = 0,43 \cdot F_3$ .

3. Следующий шаг связан с оценкой техногенного воздействия на территорию.

Техногенное воздействие ( $U$ ) на территорию включает годовые показатели выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и автотранспорта, сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности, а также размещение отходов производства и потребления. Оценка техногенного воздействия осуществляется по каждой среде.

3.1. Для воздуха техногенное воздействие определяется по следующей формуле:

$$U_1 = m_{атм}^t = m_{авт}^t + m_{ст}^t, \quad (8)$$

где  $m_{атм}^t$  – масса выбросов вредных веществ в атмосферу, учитывающая выбросы, отходящие от автотранспорта ( $m_{авт}^t$ ) и от стационарных источников загрязнения ( $m_{ст}^t$ ), в анализируемом периоде, т.

3.2. Для воды и почвы техногенное воздействие определяется по выражениям

$$U_2 = m_{вод}^t, \quad (9)$$

где  $m_{вод}^t$  – масса загрязняющих веществ, сброшенных в водные объекты, т;

$$U_3 = m_{отх}^t, \quad (10)$$

где  $m_{отх}^t$  – масса размещенных токсичных отходов, т.

4. На четвертом этапе определяется уровень экологической безопасности территории.

Соизмерение техногенной нагрузки на территорию ( $U$ ) и ее экологической техноемкости ( $T$ ) дает значение уровня экологической безопасности территории, которое предложено оценивать коэффициентом опасности ( $K_{он}$ ).

Расчет коэффициента опасности определяется по каждой выделенной  $i$ -й среде загрязнения путем сопоставления техногенной емкости (потенциала) и техногенной нагрузки территории по формуле

$$K_{oni} = \frac{U_i}{T_i}. \quad (11)$$

В случае сводной оценки уровня безопасности территории может быть найден интегральный коэффициент экологической опасности, который рассчитывается как сумма средовых коэффициентов опасности, взвешенных на показатель значимости загрязнения ( $b_i$ ) каждой из рассматриваемых сред:

$$K_{on} = \sum_{i=1}^3 (K_{oni} \cdot b_i), \quad (12)$$

где  $b_i$  – показатель значимости загрязнения конкретной среды, величина которого равна доле (удельному весу) экологического ущерба, наносимого  $i$ -й среде, в суммарном объеме ущерба от загрязнения ОС, ед.:  $b_1 = 0,31$ ;  $b_2 = 0,33$ ;  $b_3 = 0,36$ , соответственно [3].

5. На последнем этапе выполняется ранжирование территорий по уровню экологической опасности по каждой выделенной среде и/или в масштабах сводной оценки и производится интерпретация полученных результатов.

Как отмечалось ранее, большинство специалистов в области экологической безопасности предлагают весь выделяемый спектр возможных состояний территории по степени экологической безопасности разделить на четыре зоны [34]: экологической нормы, риска, кризиса, бедствия.

При этом предусматривается введение следующих оценок уровня экологической безопасности:

- 1) нормальная (присваивается символ – Н);
- 2) экологический риск – ЭР;
- 3) экологический кризис – ЭК;
- 4) экологическое бедствие – ЭБ.

Пороговые значения для разграничения основных состояний определяются экспертным путем с помощью имеющихся авторских наработок и данных теоретических исследований, публикуемых в специальной справочной и научно-технической литературе. При этом следует отметить, что выделяемые граничные значения не связаны с уровнем административно-хозяйственного деления. При определении пороговых значений полученного расчетным путем параметра (коэффициента опасности) авторы исходили из следующих посылок:

1) поскольку экологическая техноёмкость составляет долю общей экологической ёмкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеристического состава среды от естественного уровня, постольку рост этого уровня изменчивости приписывается техногенным воздействиям, достигшим предела устойчивости природного комплекса территории, следовательно, кратность превышения техногенного воздействия над техноёмкостью не должна составлять более 1 (для условий устойчивых систем);

2) научными исследованиями, проводимыми в 80-х г., было доказано, что более 50 % всех воспроизводимых основных компонентов (по воздуху – это кислород) растительные сообщества употребляют на обеспечение собственных биологических нужд, т.е. с теоретической точки зрения эта та часть основной субстанции, которая не должна подлежать изъятию. Следовательно, с позиций сохранения равновесия системы и возможностей ее нормального воспроизводства условие по кратности превышения должно быть скорректировано на коэффициент 0,5, что и было заложено в основу группировки при оценке уровня экологической безопасности. Ниже приводятся пороговые значения для определения уровня экологической безопасности территории.

## Оценка уровня экологической безопасности территории

Состояние	Н	ЭР	ЭК	ЭБ
Пороговые значения $K$	$< 0,5$	$0,5 - 1$	$1 - 5$	$> 5$

*Уровень муниципальных образований*

Для муниципальных образований методика, используемая для оценки экологической безопасности территории, может служить в качестве базовой. Порядок расчета уровня экологической безопасности следующий:

1. Экологическая емкость ( $E_i$ ) муниципального образования определяется в соответствии с вышеизложенной методикой.

2. Экологическая техноемкость муниципального образования (МО) оценивается по каждой загрязняемой среде и в целом по МО.

Экологическая техноемкость МО рассчитывается по выражению, предложенному Т.А. Моисеенковой и В.В. Хаскиным в работе [22]:

$$T_9 = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i \cdot \tau_i, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (13)$$

где  $T_9$  – экологическая техноемкость территории, усл. т/год;

$E_i$  – экологическая емкость  $i$ -ой среды, т/год;

$X_i$  – коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде;

$\tau_i$  – коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей – усл. т/т);

(по данным [22]):

– для воздуха  $\tau_i$  составляет по диоксиду серы  $\tau_1 = 0,46$  усл. т/т;

– для воды по сульфат-иону  $\tau_2 = 0,3$  усл. т/т;

– для почвы и биоты  $\tau_3 = 0,37$  усл. т/т).

3. Оценка уровня техногенной нагрузки ( $U$ ) выполняется с позиций приоритетности проблем воздействия на окружающую среду муниципальных образований отдельно по каждой среде загрязнения и в целом для МО:

$$U = M'_{атм} + M'_{вод} + M'_{отх}, \quad (14)$$

где  $M'_{атм}$  – приведенная масса выбросов в атмосферу от стационарных и нестационарных источников, усл.т;

$M'_{вод}$  – приведенная масса загрязняющих веществ, сброшенных в водные объекты, усл. т;

$M'_{отх}$  – приведенная масса размещенных токсичных отходов, усл. т.

3.1. Природная среда – воздух. Техногенное воздействие определяется по фактическому потреблению кислорода, используемому на нейтрализацию выбросов от стационарных и передвижных источников загрязнения, на сжигание топливных ресурсов, на производственные нужды.

Исходными данными для ее расчета служит форма отчетности 2-ТП (воздух). По ней определяются объемы исходящих загрязнителей, связывающих атмосферный кислород – оксиды углерода, азота и сернистый ангидрид. Наиболее распространенными являются оксид азота ( $NO_2$ ) и углерода (CO). Перевод их массы выброса в конкретные объемы потребляемого кислорода осуществляется по формулам, зависящим от молярных масс загрязняющих веществ. Так, для окиси углерода такой перевод осуществляется в соотношении 0,571, для окислов азота (по  $NO_2$ ) – 0,696, а для сернистого ангидрида – 0,5.

Аналогичные предположения и расчеты производятся для передвижных источников загрязнения. Объемы потребляемого кислорода по отдельным веществам суммируются, так же как и объемы потребляемого кислорода по передвижным и стационарным источникам загрязнения [36].

$$U_{потребл} = 0,571 \cdot M_{CO} + 0,696 \cdot M_{NO_2} + 0,5 \cdot M_{SO_2}. \quad (15)$$

Годовой объем потребления кислорода на производственно-хозяйственные цели рассчитывается по формуле [38]:

$$U_{\text{потреб2}} = \sum_{i=1}^n U_i, \quad (16)$$

где  $U_{\text{потреб2}}$  – годовое количество потребления кислорода на промышленно-хозяйственные цели по основным отраслям, т;

$U_i$  – годовое количество потребления кислорода предприятиями и организациями  $i$ -й отрасли промышленности, т;

$n$  – количество отраслей, по которым ведется контроль за потреблением кислорода.

В свою очередь, годовое количество потребления кислорода предприятиями и организациями отдельных отраслей складывается из количества кислорода, расходуемого на сжигание органического топлива ( $U_{\pi}$ ) и на осуществление собственно технологических процессов ( $U_{ii}$ ):

$$U_i = U_{\pi} + U_{ii}. \quad (17)$$

Расчет годового объема использования атмосферного кислорода на процессы горения и окисления органического топлива может быть выполнен по следующей формуле:

$$U_{\pi} = \sum_{j=1}^m M_j \cdot g_j \cdot k_j, \quad (18)$$

где  $M_j$  – масса сжигаемого топлива  $j$ -го вида в течение периода  $t$ , т;

$g_j$  – удельный расход атмосферного кислорода на сжигание 1 т топлива  $j$ -го вида, т/т;

$k_j$  – коэффициент полноты сжигания топлива  $j$ -го вида.

Количество необходимого окислителя на 1 условную тонну топлива приведено в табл. 10 [38].

Таблица 10

Расход атмосферного кислорода на сжигание 1 т топлива

Вид топлива	Расход кислорода на 1 т/т
Дизельное топливо	2,3
Автобензин	2,3
Керосин	2,3
Газ сжиженный	2,32
Уголь и продукты переработки угля	2,29
Торф топливный	2,0
Дрова	2,0
Торфяные брикеты	2,0
Природный газ	1,54 кг/м <sup>3</sup>
Кокс металлургический сухой	2,66
Коксик	2,66
Коксовая мелочь	2,66

Наряду с этим кислород потребляется во многих технологических процессах:

- при окислении металлов, используемом главным образом в процессах рафинирования черновых металлов;
- окислении сульфидов, применяемом главным образом в процессах горения, агломерации, конвертирования и автогенной плавки;
- сжигании топлива, применяемом в восстановительных процессах;
- культивировании дрожжей;
- разделении воздуха для получения чистого кислорода [38].

Количество кислорода, которое используется на технологические цели, может быть определено по формуле

$$U_{ti} = \sum_{k=1}^l B_k \cdot v_{O_2k}, \quad (19)$$



где  $B_k$  – выпуск продукции, в производстве которой потребляется кислород, натур. ед.;

$v_{O_2k}$  – удельный расход кислорода, т/натур. ед. (табл. 11).

Таблица 11

Расход кислорода и воздуха в некоторых технологических процессах [38]

Наименование процесса	Теоретический расход кислорода	Теоретический расход воздуха
Конвертерное производство стали (тип процесса), кг/т стали:		
бессемеровский	85,7 – 100	372,6 – 434,8
томасовский	92,9 – 107,2	403,9 – 466,1
Верхнее кислородное дутье:		
перелыйный чугун	71,5 – 85,7	310,9 – 372,9
высокофосфористый чугун	71,5 – 92,9	310,9 – 403,9
Донное кислородное дутье	64,3 – 92,9	275,7 – 403,9
Производство чугуна, кг/т чугуна	126,5	549
Культивирование дрожжей на гидролизных субстратах, кг/кг абс. сух. дрож.	0,9 – 1,1	3,9 – 4,8

Общий объем потребления кислорода служит характеристикой уровня техногенного воздействия на окружающую среду, и его можно определить по формуле

$$U_1 = U_{\text{потреб1}} + U_{\text{потреб2}}. \quad (20)$$

3.2. Для природной среды – вода и почва – техногенное воздействие определяется массой сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и величиной размещения отходов по следующему выражению:

$$U_{2,3} = M_{np}^t = \sum_{i=1}^n m_i \cdot K_{zi}, \quad (21)$$

где  $M_{np}^t$  – приведенная масса загрязняющих веществ, сброшенных в водные

объекты, или приведенная масса размещенных токсичных отходов,

усл. т;

$m_i$  – фактическая масса  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной эколого-экономической опасности, т;

$K_i$  – коэффициент относительной эколого-экономической опасности  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ (табличные значения приводятся в [19]).

#### 4. Определение уровня экологической безопасности МО.

Соизмерение техногенной нагрузки на территорию ( $U$ ) и ее экологической техноемкости ( $T$ ) дает значение уровня экологической безопасности территории, которое предложено оценивать коэффициентом опасности ( $K_{он}$ ).

Расчет коэффициента опасности определяется по каждой выделенной  $i$ -й среде загрязнения путем сопоставления техногенной емкости (потенциала) и техногенной нагрузки территории по формуле (11).

В случае сводной оценки уровня безопасности территории может быть найден интегральный коэффициент экологической опасности, который рассчитывается как сумма средовых коэффициентов опасности взвешенных на показатель значимости загрязнения каждой из рассматриваемых сред (12).

#### 5. Результат оценки экологической безопасности.

Пороговые значения для разграничения основных состояний определяются экспертным путем с помощью имеющихся в научной литературе допущений. Ниже указаны пороговые значения для определения уровня экологической безопасности МО.

##### Оценка уровня экологической безопасности МО

Состояние	Н	ЭР	ЭК	ЭБ
Пороговые значения $K_{он}$	< 0,5	0,5 – 1	1 – 5	> 5

### **1.3. Текущая и перспективная оценка состояния экологической безопасности Свердловской области**

Результаты расчетов комплексной оценки экономической безопасности выполненные по методике, разработанной Институтом экономики УрО РАН, приведены в табл. 12. Данная методика включает в себя оценку уровня безопасности по сферам жизнедеятельности, в том числе экологической. Для сравнения были рассчитаны уровни экологической безопасности Свердловской области, как по собственной, так и по этой методике. В табл. 13 представлена оценка уровня экологической безопасности территорий Уральского федерального округа, выполненная по методике ИЭ УрО РАН. Расчеты по Свердловской области показывают, что ситуация в сфере *экологической* безопасности находится в развивающейся стадии предкризиса. Состояние *экономической* безопасности Свердловской области улучшилось, наблюдается переход из стадии кризиса в предкризис.

Из расчетных значений показателя экологической безопасности следует, что уровень техногенной нагрузки в Свердловской области существенно ниже, чем в Челябинской и Ханты-Мансийском автономном округе, что не в полной мере отвечает диагностической картине, получаемой на основе данных, представленных в [10, 11, 25, 27 – 29, 32].

Таблица 12

## Оценка экономической безопасности Уральского федерального округа

Наименование округов и субъектов	2000 г.		2001 г.		2002 г.		2003 г.	
	Ситуация	Место	Ситуация	Место	Ситуация	Место	Ситуация	Место
УрФО	1,047 К1	-	0,982 ПК3	-	0,814 ПК3	-	0,832 ПК3	-
Курганская область	1,172 К1	2	1,241 К1	1	1,227 К1	1	1,178 К1	1
Свердловская область	1,113 К1	3	1,043 К1	3	0,925 ПК3	4	0,912 ПК3	4
Тюменская область	0,964 ПК3	5	0,896 ПК3	5	0,774 ПК3	5	0,786 ПК3	5
ХМАО	1,038 К1	4	1,004 К1	4	1,03 К1	3	1,001 К1	3
ЯНАО	0,905 ПК3	6	0,868 ПК3	6	0,537 ПК2	6	0,409 ПК2	6
Челябинская область	1,192 К1	1	1,169 К1	2	1,009 К1	2	1,005 К1	2

*Примечания.*

В первой строке в столбце «Ситуация» указана нормализованная оценка степени кризисности, во второй строке – условное обозначение степени кризисности: предкризис 1 (ПК1) – начальная стадия, предкризис 2 (ПК2) – развивающаяся стадия, предкризис 3 (ПК3) – критическая стадия. Кризисная зона также разбивается на три стадии: кризис 1 (К1) – нестабильная стадия, кризис 2 (К2) – угрожающая стадия, кризис 3 (К3) – чрезвычайная стадия.

Таблица 13

## Оценка экологической безопасности Уральского федерального округа

Наименование округов и субъектов	2000 г.		2001 г.		2002 г.		2003 г.	
	Ситуация	Место	Ситуация	Место	Ситуация	Место	Ситуация	Место
УрФО	0 Н	-	0 Н	-	0 Н	-	0 Н	-
Курганская область	0 Н	3 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6
Свердловская область	0,462 ПК2	2	0,422 ПК2	2	0,34 ПК2	2	0,378 ПК2	3
Тюменская область	0 Н	3 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6
ХМАО	0 Н	3 – 6	0,067 ПК1	3	0,116 ПК1	3	0,662 ПК2	2
ЯНАО	0 Н	3 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6	0 Н	4 – 6
Челябинская область	1,421 К2	1	1,436 К2	1	1,302 К1	1	1,385 К1	1

Используя методику, изложенную в разделе 2 настоящей главы, определим уровень экологической безопасности Свердловской области. Трудоемкость расчета техноемкости территории и формирования соответствующей базы данных по Уральскому федеральному округу не позволили в данном исследовании применить ее к оценке экологической безопасности в целом по УрФО.

*Оценка экологической техноемкости Свердловской области  
(на базе авторской методики)*

Исходная информация для определения уровня техноемкости Свердловской области приведена в прил. 1. Основные характеристики территории Свердловской области и данные для расчета экологической техноемкости взяты из Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 году [11] и статистического сборника «Охрана окружающей среды в Свердловской области за 2004 год» [25].

*Расчет экологической техноемкости Свердловской области*

1. Экологическая емкость атмосферного воздуха ( $E_I$ ):

- объем воспроизводства кислорода  $\Pi_B = 80530,3$  тыс. т;
- скорость ветра  $v = 4,5$  м/с;
- площадь территории  $S = 194300$  км<sup>2</sup>;
- скорость кратного обновления объема воздуха  $F_I = \frac{55896 \cdot 4,5}{\sqrt{194300}} = 570,6$  год<sup>-1</sup>.

$$E_I = 80530,3 \cdot 570,6 = 45950589,18 \text{ тыс. т.}$$

2. Экологическая техноемкость воздушной среды  $T_{ЭI}$ :

- коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде ( $X_i$ ): для кислорода  $X_I = 3 \cdot 10^{-6}$  [22];

$$T_{ЭI} = 45950589,18 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 137851,77 \text{ т/год.}$$

3. Экологическая техноёмкость водной среды  $T_{32}$ :

$$V_2 = 30,07 \text{ км}^3; C_2 = 10^9 \text{ т/км}^2; f = 953,51 \text{ м}^3/\text{с}; w = 500 \text{ мм}; S = 194300 \text{ км}^2;$$

$$F_2 = \frac{(0,0315 \cdot 953,51 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 194300)}{30,07} = 10,7 \text{ год}^{-1};$$

$$X_2 = (4,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} [22];$$

$$T_{32} = 30,07 \cdot 10^9 \cdot 10,7 \cdot 4,2 \cdot 10^{-5} = 13513458 \text{ т/год.}$$

4. Экологическая техноёмкость почвы и биоты  $T_{33}$ :

$$V_3 = 194300 \text{ км}^2; C_3 = 8585,2 \text{ т/км}^2; P_B = 148412,2 \text{ тыс. т}; B = 1668099,6 \text{ тыс. т};$$

$$F_3 = \frac{148412,2}{1668099,6} = 0,0889 \text{ год}^{-1};$$

$$X_3 = 0,43 \cdot 0,0889 = 0,0382 ;$$

$$T_{33} = 194300 \cdot 8585,2 \cdot 0,0889 \cdot 0,0382 = 5664849,04 \text{ т/год.}$$

#### *Оценка техногенного воздействия*

Масса выбросов вредных веществ в атмосферу с учетом выбросов от автотранспорта и от стационарных источников загрязнения [11], масса загрязняющих веществ, сброшенных в водные объекты Свердловской области [25], данные о размещении токсичных отходов [11] приведены в прил. 2.

Величина техногенного воздействия по каждой выделенной среде составила:

$$U_1 = 1792550 \text{ т}; U_2 = 160635,4 \text{ т}; U_3 = 2177500 \text{ т.}$$

#### *Определение уровня экологической безопасности территории*

Расчет коэффициентов опасности по каждой выделенной среде загрязнения выполняется путем сопоставления техногенной емкости и техногенной нагрузки на данную среду:

$$K_{onl} = \frac{1792550}{137851,77} = 13;$$

$$K_{он2} = \frac{160635,4}{13513458} = 0,012;$$

$$K_{он3} = \frac{2177500}{5664849,04} = 0,38.$$

Для сводной оценки уровня безопасности территории находится интегральный коэффициент экологической опасности:

$$K_{он} = 13 \cdot 0,31 + 0,012 \cdot 0,33 + 0,38 \cdot 0,36 = 4,17.$$

#### *Оценка уровня экологической безопасности Свердловской области*

Расчет коэффициента опасности по каждой среде загрязнения свидетельствует, что приоритетной проблемой для территории Свердловской области является загрязнение атмосферного воздуха:  $K_{он1} = 13$ . Техногенная нагрузка на атмосферный воздух превышает его экологическую техноемкость в 13 раз.

В соответствии с данными, представленными на стр. 28, оценивается уровень экологической безопасности Свердловской области.

Интегральный коэффициент экологической опасности равен 4,17, следовательно, территория области находится в зоне экологического кризиса. Эта информация сигнализирует, что экологическая обстановка в области достаточно напряженная и изменение качества окружающей природной среды, имея до 2003 года отрицательную динамику снижения, остается малоподвижной.

## **2. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРУ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Математическое моделирование в экологии в последнее десятилетие связано не столько с повышением интереса к изучению экологических процессов, сколько с ухудшением состояния окружающей среды.

В данной работе объектом исследования является техногенное воздействие основных природозагрязняющих отраслей области на атмосферный воздух и состояние природной среды, оцениваемое по ее возможности к самовосстановлению. Выбор отраслей определен на основе удельного веса объема выбросов в общей массе загрязнения и объема производства в совокупном выпуске промышленной продукции (суммарная доля выбросов обследуемых отраслей в массе загрязнения за последние пять лет составляет около 86 %, а доля их выпуска в общем объеме промышленной продукции немногим более 90 %).

### **2.1. Моделирование техногенного воздействия отраслей промышленности на загрязнение атмосферы**

Моделирование в научных исследованиях, особенно в такой отрасли как экология, осложняется тем, что реальные процессы представляют собой систему, в которой внутренние и внешние факторы имеют разнонаправленный характер, обусловленный логикой автономного развития социально-экономических систем и экологических процессов. Эта особенность обусловила специфику в моделировании экосистем, которую можно свести к следующим моментам:

- для изучения экологических процессов в социально-экономических системах приходится абстрагироваться от части взаимодействий и их природы и выделять существенные факторы и связи, которые важны в настоящий момент;



– при сравнении моделей процесса (объекта) с реальными процессами (объектами) возникают трудности, связанные со значительной продолжительностью протекания их во времени и воспроизводством натуральных испытаний (эксперимента). Поэтому основным направлением в моделировании экологических процессов является информационное моделирование, создание изоморфных абстрактных имитационных моделей (каждому элементу структуры объекта или процесса соответствует один элемент структуры модели), построенных на математическом и логическом аппаратах, реализуемых на базе ЭВМ или компьютерных программ.

При построении эколого-математической модели обычно выделяется несколько этапов (прил. 3), важнейшим из которых является определение задачи. На этом этапе необходимо изучить закономерности процесса или объекта, очертить границы, построить структуру, т.е. идентифицировать систему.

После идентификации строится концептуальная модель, которая является идеологической основой будущей математической модели, позволяющей оценить положение системы во внешней среде и выявить необходимые входные ресурсы для ее функционирования. Кроме того, концептуальная модель позволяет определить влияние факторов внешней среды и ожидаемые выходные ресурсы. На основе концептуальной модели строится факторная модель, которая устанавливает логическую связь между параметрами процесса (объекта), входными и выходными переменными, факторами внешней среды и параметрами управления, а также учитывает связи в системе.

Следующий этап полагает составление математической модели, вид которой в значительной степени зависит от цели исследования. Кроме того, для построения модели формулируются следующие понятия: критерий оптимальности, целевая функция, ограничения (прил. 3).

В настоящей работе в качестве критерия оптимальности выбран минимальный объем суммарного загрязнения, наносимого трем природным средам, – атмосферному воздуху, водным ресурсам, почве, определенный на

единицу выпуска промышленной продукции (т.е. удельный объем загрязнения). Целевая функция связывает между собой независимые переменные, в качестве которых выступают средовые удельные объемы загрязнения, рассчитанные на единицу выпуска промышленной продукции (или, что предпочтительнее, индекс роста удельного объема загрязнения), и показатель состояния техноёмкости территории или региона (рассчитывается по кратности превышения техногенной нагрузки экологической ёмкости территории, нормальное значение которого для территории принимается – 0,5 ед., стр. 28).

Параметрами аналитического выражения являются показатели, характеризующие долю ущерба, наносимого окружающей среде трем природным средам: атмосфере, воде, почве. Таким образом, оценивается приоритетность загрязнения выделяемой природной среды для конкретного региона или муниципального образования. Значения параметров для целевой функции принимаются по данным расчета ущерба, наносимого отдельным природным средам, выполненного для Свердловской области в работе [3]. С учетом изложенного, целевая функция принимает вид

$$F_I = 0,31J_{сбр}' + 0,12J_{отх}' + 0,57J_{г}' \rightarrow \min, \quad (22)$$

где  $J_{сбр}'$  – удельный индекс объемов загрязнения водных ресурсов, ед.;

$J_{отх}'$  – удельный индекс объемов размещения отходов, ед.;

$J_{г}'$  – удельный индекс объемов выбросов, ед.

При расчете объема загрязнения, наносимого природной среде (в данной работе – атмосфере) промышленными объектами, в математической модели связаны объемы выбросов по каждой отобранной для изучения отрасли ( $Y_i$ ), объемы промышленного производства выделенных отраслей ( $X_i$ ) и эластичность загрязнения воздуха по выпуску продукции ( $E_i$ ). Исследование формы связи между объемами выпуска продукции и массами выбросов в отраслевом разрезе показало, что она имеет характер степенной зависимости, т.е. при увеличении объемов производства динамика массы выбросов малоподвижна, другими

словами, темпы роста объемов производства существенно опережают темпы роста объемов загрязнения (эластичность имеет отрицательное значение для всех отраслей). Выявленная тенденция позволяет говорить о большем влиянии научно-технического фактора на изменение уровня антропогенной нагрузки, чем выпуск продукции, что подтверждается и динамикой удельных объемов выбросов (прил. 5, 6, 8).

На основании выявленных в ходе исследования зависимостей (прил. 5, 6, 7, 8) следует, что форма связи имеет нелинейный характер и лучше всего описывается мультипликативной функцией вида

$$Y = b_0 \cdot \prod_{i=1}^5 X_i^{b_i}, \quad (23)$$

где  $b_i$  – показатель степени, численное значение которого равно эластичности загрязнения, соответствующей отрасли;

$b_0$  – параметр регрессионной модели, имеющий постоянное значение.

Используемая функция имеет наибольший коэффициент детерминированности из всех рассматриваемых видов аналитических выражений, и он близок к единице.

Логарифмируя нелинейную функцию, т.е. преобразуя ее в линейную модель, получаем выражение для расчета общей массы загрязнения следующего вида:

$$\ln Y = \ln b_0 + E_1 \ln X_1 + E_2 \ln X_2 + E_3 \ln X_3 + E_4 \ln X_4 + E_5 \ln X_5. \quad (24)$$

Рассмотренный вариант модели может быть дополнен и модифицирован при условии дальнейшего развития информационной базы за счет более полного описания динамики рассматриваемых явлений, изменения технологии добычи и переработки минерального сырья, снижения энергоемкости и ресурсоемкости производств и др.

На данном этапе исследования полученная модель имеет следующие упрощения и особенности:

1. Выбор номенклатуры отраслей, представленных в модели, обусловлен степенью их влияния на окружающую природную среду и важностью для экономики региона (области). Рассматриваются обособленно производства тепло- и электроэнергетики, черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической, машиностроения, промышленности строительных материалов.

2. Модель является статической, так как объемы производства продукции и загрязнение атмосферного воздуха выбросами отмеченных отраслей представлены на один год прогнозируемого периода с возможностью определения уровня загрязнения по каждому следующему году, исходя из уровня предшествующего.

3. В модели исследуется воздействие только на один элемент природной среды – атмосферу, хотя она может быть применена для определения уровня загрязнения поверхностных вод и почвы.

4. В модели не учитывается трансграничное загрязнение окружающей природной среды и динамика трансграничных переносов в зависимости от скорости экономического роста смежных с областью регионов.

## **2.2. Трендовые модели прогнозирования.**

### **Основные результаты вычислений**

*Трендовая модель прогнозирования* – это уравнение, формализующее закономерности развития изучаемого процесса (явления) в базисном периоде. Данные модели применяются в том случае, если установлено, что найденные закономерности будут действовать на определенном отрезке времени в будущем. В этом случае динамический ряд рассматривается как функция времени и с известным приближением описывается различными уравнениями.

Наиболее часто трендовые модели, используемые для прогнозирования массы загрязнения, удельных загрязнений (по конкретным количественным

измерителям), объемов промышленного производства и др., описываются уравнением прямой, логарифмической функцией, экспоненциальной, параболической. Недостатком трендовых моделей является тот факт, что все многочисленные факторы, действующие в прошлом, остаются неизменными и в прогнозном периоде. Поэтому при использовании трендовых моделей выделяется один основной фактор, в настоящей работе – масса выбросов. Такая модель в силу своего упрощения называется *эскизной*. Примером такого типа моделей является модель Энгеля, впервые изучавшего группу кривых, зависимости спроса от доходов (однофакторная модель). В эколого-экономических задачах использование однофакторных моделей связано с прогнозированием уровня загрязнения на небольшой период планирования (3-4 года) и дает вполне достоверные результаты для различных отраслей промышленности.



Рис. 3. Прогнозирование объемов производства  
по металлургическому комплексу

В исследовании использовались однофакторные модели типа  $Y_i = f(t_i)$  для определения прогнозных темпов роста объемов производства по отраслям (рис. 3) и по промышленности в целом [3].

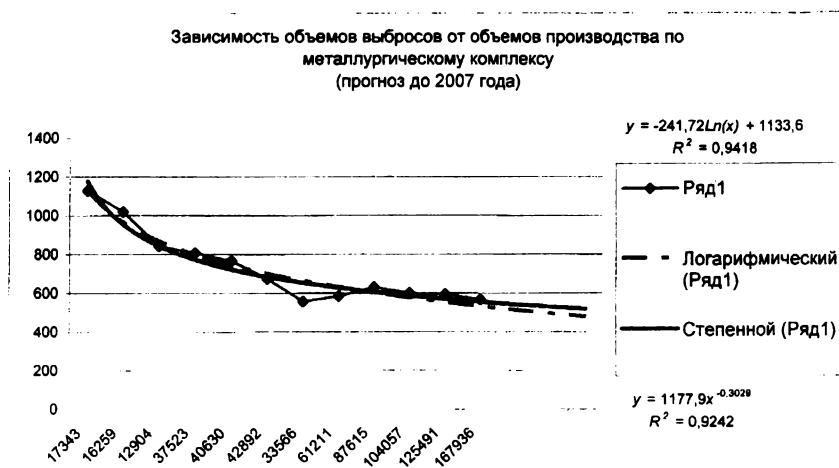


Рис. 4. Исследование зависимости массы выбросов  
от объемов производства и прогнозирование уровня выбросов  
(металлургический комплекс)

В практике среднесрочного прогнозирования преимущественно пользовались популярностью многофакторные корреляционные и регрессионные модели. Эти модели выступали как функции спроса, в которых в качестве переменных использовались факторы, определяющие динамику спроса.

В настоящей работе с целью среднесрочного прогнозирования темпов роста массы выбросов применена двухфакторная модель динамики объемов загрязнения от изменения выпуска продукции  $Y = f(X, t)$ .



Рис. 5. Исследование зависимости массы выбросов от объемов производства и прогнозирование уровня выбросов (электроэнергетика)

Полученные результаты, представленные на рис. 5, 6, 7, свидетельствуют о том, что связь между массой выбросов в атмосферу от конкретной отрасли и объемами производства продукции этих отраслей очень тесная (значения коэффициентов детерминации высокие). Следовательно, для таких зависимостей можно вычислять коэффициенты эластичности и использовать их для определения прогнозных значений результативного признака ( $Y$ ) по заданным темпам роста факторного ( $X$ ).

Разработанные трендовые многофакторные модели для определения массы выбросов в атмосферу позволяют рассчитывать как текущий, так и прогнозный уровень загрязнения, наносимый каждой отраслью отдельно и промышленностью в целом.

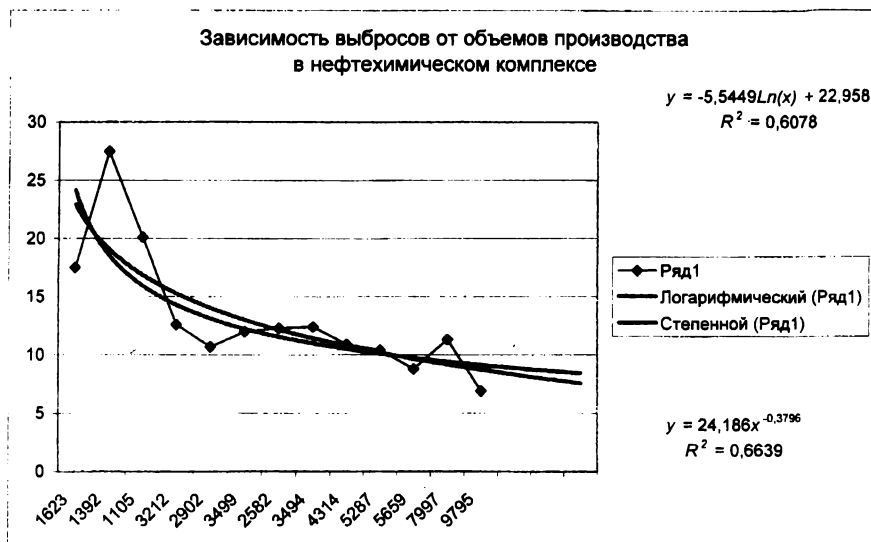


Рис. 6. Исследование зависимости массы выбросов от объемов производства и прогнозирование уровня выбросов (нефтехимический комплекс)

В моделях применены частные коэффициенты эластичности загрязнения атмосферы, показывающие изменение (в процентах) результативного признака, при изменении одного из факторных признаков на 1 %, при неизменном значении другого.

Исходные данные для расчета показателя эластичности загрязнения по объему производства в разрезе каждой изучаемой отрасли представлены в табл. 14-18. Формула расчета коэффициентов эластичности имеет следующий вид [3]:

$$E_j = \sum_j^n \sum_i^k \left( \frac{T_{npm_{ji}}}{T_{npB}} / \frac{\overline{I_{m_{ji}}}}{\overline{I_B}} \right), \quad (25)$$

где  $\frac{T_{npm_{ji}}}{T_{npB}}$  – соотношение средних темпов прироста рядов, характеризующих

изменение цепных индексов выбросов в атмосферу по отраслям  
и объем производства продукции отрасли, ед.;



$\frac{\overline{I_{m_{ji}}}}{\overline{I_B}}$  – соотношение средних индексов рядов динамики, характеризующих объемы выбросов в атмосферу по отраслям и объемы производства продукции по отраслям (или средний индекс удельных объемов загрязнения в расчете на единицу выпуска продукции по отрасли), ед.

В результате выполненных расчетов получены следующие значения коэффициентов эластичности по выделенным отраслям соответственно

$$E_{мет.} = -0,28; E_{электр.} = -0,17; E_{стр.} = -0,19; E_{нефтехим.} = -0,53; E_{маш.} = -0,36;$$

В рассматриваемой модели (24) параметр уравнения  $b_0$  определен с использованием метода наименьших квадратов ( $b_0 = 1081$ ) и, переходя от общего выражения к исследуемой зависимости, можно записать модель расчета общей массы выбросов в следующем виде:

$$\begin{aligned} LnY = Ln1081 + (-0,28)LnX_1 + (-0,17)LnX_2 + \\ + (-0,19)LnX_3 + (-0,53)LnX_4 + (-0,36)LnX_5. \end{aligned} \quad (26)$$

Для каждой  $i$ -отрасли объемы выбросов ( $Y_i$ ) определяются с применением параметра  $b_i$ , рассчитанного для конкретных отраслей, по выражению

$$LnY_i = Lnb_i + E_i LnX_i. \quad (27)$$

Расчет суммарного объема выбросов по промышленности выполнен на основе формулы 26 и с учетом вклада прочих отраслей (15 %) на отчетный период (2004 г.) составил 1281,3 тыс.т; на текущий 2005 г. – 1251 тыс.т, в том числе по отраслям: металлургический комплекс – 552 тыс.т, электроэнергетика – 417 тыс.т, строительная – 51 тыс.т, химическая – 6,9 тыс.т, машиностроение – 23,3 тыс.т.

Результаты расчетов по массе выбросов по промышленности на 2006 г. дают следующую прогнозную оценку – 1091,6 тыс.т.

Прогнозные значения показателя  $Y$  могут быть получены с применением разных методов. В данном исследовании использованы два из них:

- на основе полученного выражения (формула (23)) с представлением прогнозного показателя по массе загрязнения в абсолютной форме;
- на основе методов экстраполяции (получаемые значения выступают в виде относительных величин) по вариантам:
  - а) установленному аналитическому выражению;
  - б) среднему приросту.

Значения показателя загрязнения воздуха, получаемые в виде относительных величин, характеризуют темпы роста объемов выбросов (загрязнения) по отдельным отраслям и средний темп роста по промышленности.

Согласно первому методу расчет массы выбросов по отрасли  $i$  ведется по полученному аналитическому выражению

$$Y_{i+1} = b_0 \cdot X_{i+1}^{E_i}, \quad (28),$$

где  $Y_{i+1}$  – прогнозируемое на следующий за базовым период значение массы выбросов, тыс.т.;

$X_{i+1}$  – прогнозируемое значение объема производства продукции  $i$ -отрасли, тыс. руб.

При использовании второго метода (вариант «а») – прогнозирование выполняется исходя из зависимости  $Y = f(X, t)$  и конкретного аналитического выражения определенного для каждой отрасли. В этом случае расчет прогнозных значений темпов роста массы выбросов каждой отрасли осуществляется простой подстановкой периодов времени на последующий интервал прогноза.

Полученные прогнозные показатели темпов роста объемов загрязнения с применением экстраполяции представлены на рис. 4, 5, 6.

В соответствии со вторым вариантом решения (случай «б») – прогнозирование по среднему приросту, используются показатели

эластичности, рассчитанные для каждой отрасли, и темпы роста объемов производства.

Пример расчета по варианту «б» приводится для одной базовой отрасли – металлургическому комплексу:

1. Исходные данные по отрасли на 2005 г.:  $T_{прВ} = 38 \%$  (рис. 4);  $E_{мет} = -0,28$ ;

2. Расчет *темпа прироста* объема выбросов выполняется по выражению

$$T_{прМ} = T_{прВ} \cdot E_{мет} / 100\% = (38 \cdot (-0,28) / 100) = -0,1064 \%;$$

3. Определение *темпов роста* объема выбросов по металлургическому комплексу:

– базовая величина темпа роста объема выброса (2004 г., табл. 17) равна

$$T_{рМ} = 98,47 \; \%.$$

– прогнозируемая величина на 2005 г. составит

$$T_{рМ 2005} = 98,47 + (-0,1064) = 98,36 \; \%.$$

Полученные аналогичным путем значения индексов загрязнения (темпов роста) по всем остальным отраслям усредняются, и определяется прогнозный показатель объема выбросов на заданный период.

Дальнейший этап моделирования уровня воздействия промышленных объектов на состояние ОС связан с последующим расчетом величины антропогенной нагрузки для всех природных сред, включая водные ресурсы и почву.

По имеющимся данным [3] об объемах загрязнения по каждой природной среде, полученных с использованием аналогичной последовательности расчетов (формула (24)), можно определить значение целевой функции. Результат минимизации целевой функции (суммарный объем антропогенной нагрузки на природную среду) определяет величину предельного уровня (темпа роста) суммарной антропогенной нагрузки и равен 94,56 %.



Рис. 7. Моделирование целевой функции в области допустимых решений

(Решение задачи выполнялось с использованием надстройки  
«Поиск решения» (Solver) пакета MS Excel)

Полученный результат интерпретируется следующим образом: среднее значение индекса удельного объема загрязнения, рассчитанное по трем природным средам, фиксирует верхний предельный уровень загрязнения, после которого рост антропогенной нагрузки приводит к резкому ухудшению состояния ОС, что может соответствовать критическому уровню. На практике превышение расчетного значения индекса, полученного по данным отчетности, над предельным показателем сигнализирует о том, что экологическая обстановка в регионе становится крайне опасной, и в системе оценки экологической безопасности (стр. 28) возрастает риск попадания территории в группу экологического кризиса.

Металлургическая промышленность (черная и цветная)

Таблица 14

Показатель	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Объем выбросов в атмосферу, тыс. т	1128,33	1020,50	842,30	807,60	767,50	674,70	555,60	584,40	629,80	600,10	593,40	567,10	558,40
Объем производства, тыс. руб.	17342,52	16259,43	12904,44	37523,18	40630,50	42891,76	33566,38	61210,95	87614,74	104056,52	125490,60	167935,95	218023,00
Индекс объема выбросов (цепной), %	100,00	90,44	82,54	95,88	95,03	87,91	82,35	105,18	107,77	95,28	98,88	95,57	98,47
Индекс объема производства	100,00	93,75	79,37	290,78	108,28	105,57	78,26	182,36	143,14	118,77	120,60	133,82	129,83
Темп прироста объема выбросов, %	0,00	-9,56	-17,46	-4,12	-4,97	-12,09	-17,65	5,18	7,77	-4,72	-1,12	-4,43	-1,53
Темп прироста объема произв., %	100,00	-6,25	-20,63	190,78	8,28	5,57	-21,74	82,36	43,14	18,77	20,60	33,82	29,83
Индекс удельных выбросов	100,00	96,47	104,00	32,97	87,77	83,27	105,23	57,68	75,29	80,23	81,99	71,41	75,85
Темп роста удельных выбросов	100,00	96,47	107,80	31,71	266,17	94,88	126,36	54,82	130,53	106,56	102,20	87,10	106,21

Таблица 15

## Электроэнергетика

Показатель	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Объем выбросов в атмосферу, тыс. т	586,82	577,40	404,00	420,10	375,90	419,90	454,50	433,00	574,20	553,20	414,20	481,90	425,90
Объем производства, тыс. руб.	4988,94	4277,01	3394,49	9870,40	12606,34	15896,95	11971,22	13013,35	16759,64	22207,19	28050,84	34546,82	38714,00
Индекс объема выбросов (цепной), %	100,00	98,40	69,97	103,99	89,48	111,71	108,24	95,27	132,61	96,34	74,87	116,34	88,38
Индекс объема производства	100,00	85,73	79,37	290,78	127,72	126,10	75,31	108,71	128,79	132,50	126,31	123,16	112,06
Темп прироста объема выбросов, %	0,00	-1,60	-30,03	3,99	-10,52	11,71	8,24	-4,73	32,61	-3,66	-25,13	16,34	-11,62
Темп прироста объема производства, %	0,00	-14,27	-20,63	190,78	27,72	26,10	-24,69	8,71	28,79	32,50	26,31	23,16	12,06
Индекс удельных выбросов	100,00	114,77	88,16	35,76	70,06	88,58	143,74	87,64	102,97	72,71	59,28	94,47	78,87
Темп роста удельных выбросов				100,00	195,91	126,44	162,26	60,97	117,49	70,61	81,52	159,37	83,48

Таблица 16

## Строительная промышленность

Показатель	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Объем выбросов в атмосферу, тыс. т	74,12	68,90	58,80	52,50	52,90	50,80	45,30	41,40	54,40	55,30	50,40	46,60	51,70
Объем производства, тыс. руб.	2019,33	1731,17	1373,96	399,52	4988,12	5498,94	3833,92	4458,28	6305,61	8882,87	9596,34	12155,36	17324
Индекс объема выбросов (цепной), %	100,00	92,95	85,34	89,29	100,76	96,03	89,17	91,39	131,40	101,65	91,14	92,46	110,94
Индекс объема производства	100,00	85,73	79,37	29,08	1248,54	110,24	69,72	116,29	141,44	140,87	108,03	126,67	142,52
Темп прироста объема выбросов, %	0,00	-7,05	-14,66	-10,71	0,76	-3,97	-10,83	-8,61	31,40	1,65	-8,86	-7,54	10,94
Темп прироста объема производства, %	0,00	-14,27	-20,63	-70,92	1148,54	10,24	-30,28	16,29	41,44	40,87	8,03	26,67	42,52
Индекс удельных выбросов	100,00	108,42	107,53	307,06	8,07	87,11	127,90	78,59	92,90	72,16	84,36	72,99	77,84
Темп роста удельных выбросов	100,00	108,42	99,17	285,56	2,63	1079,37	146,83	61,45	118,21	77,67	116,91	86,52	106,64

Химическая и нефтехимическая промышленность

Таблица 17

Показатель	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Объем выбросов в атмосферу, тыс. т	17,50	27,50	20,10	12,60	10,70	12,00	12,30	12,40	10,90	10,40	8,80	11,30	6,90
Объем производства, тыс. руб.	1623,39	1391,73	1104,56	3211,80	2902,18	3499,33	2582,03	3494,33	4314,36	5287,43	5659,38	7996,95	9795,00
Индекс объема выбросов (цепной), %	100,00	157,13	73,09	62,69	84,92	112,15	102,50	100,81	87,90	95,41	84,62	128,41	61,06
Индекс объема выбросов	100,00	85,73	79,37	290,78	90,36	120,58	73,79	135,33	123,47	122,55	107,03	141,30	107,67
Темп прироста объема выбросов, %	0,00	57,13	-26,91	-37,31	-15,08	12,15	2,50	0,81	-12,10	-4,59	-15,38	28,41	-38,94
Темп прироста объема производства, %	0,00	57,13	-26,91	-37,31	-15,08	12,15	2,50	0,81	-12,10	-4,59	-15,38	28,41	7,67
Индекс удельных выбросов	100,00	183,28	92,09	21,56	93,98	93,01	138,91	74,49	71,20	77,85	79,05	90,87	87,31
Темп роста удельных выбросов	100,00	183,28	50,25	23,41	435,94	98,97	149,35	53,62	95,57	109,35	101,54	114,95	121,7



Таблица 18  
Машиностроение и металлообработка

Показатель	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Объем выбросов в атмосферу, тыс. т	59,71	70,80	48,70	41,30	40,70	40,70	37,50	36,00	36,50	32,90	27,60	25,00	23,50
Объем производства, тыс. руб.	6255,98	5363,23	4256,58	12377,17	15417,82	18096,52	14162,04	18917,56	27877,42	41876,41	51426,54	64935,23	69914,00
Индекс объема выбросов (цепной), %	100,00	118,57	68,79	84,80	98,55	100,00	92,14	96,00	101,39	90,14	83,89	90,58	94,00
Индекс объема производства	100,00	85,73	79,37	290,78	124,57	117,37	78,26	133,58	147,36	150,22	122,81	126,27	107,67
Темп прироста объема выбросов, %	0,00	18,57	-31,21	-15,20	-1,45	0,00	-7,86	-4,00	1,39	-9,86	-16,11	-9,42	-6,00
Темп прироста объема производства, %	0,00	-14,27	-20,63	190,78	24,57	17,37	-21,74	33,58	47,36	50,22	22,81	26,27	7,67
Индекс удельных выбросов	100,00	138,31	86,67	29,16	79,11	85,20	117,74	71,87	68,80	60,00	68,31	71,74	87,31
Темп роста удельных выбросов	100,00	138,31	62,66	33,65	271,26	107,69	138,19	61,04	95,74	87,21	113,84	105,01	121,7

Найденная величина целевой функции дает возможность получить предельные значения индексов для каждой конкретной среды загрязнения, используя следующие аналитические выражения:

$$Y_B = 1,3x + 87,018,$$

$$Y_{сбр.} = -0,7618x + 103,41,$$

$$Y_{отх.} = 1,6063x + 84,874.$$

Полученные расчетные значения темпов роста удельных объемов загрязнения по каждой контролируемой среде оцениваются аналогично индексу общего загрязнения.

Дальнейшее изучение уровня загрязнения по выделенным средам потребовало более детальных расчетов по определению величины объемов выбросов, сбросов, размещению отходов, поступающих от рассматриваемых базовых отраслей в каждую природную сферу. С этой целью понадобилось изменить постановку задачи, используя декомпозицию в разрезе природных сред и отраслей (прил. 7). На основе полученной матричной модели целевая функция по типу загрязнения для одной конкретной среды от базовых отраслей была записана в следующем виде:

$$F(y) = \sum_{j=1}^n E_j X_j \rightarrow \min;$$

$$\sum_j J_{ij} X_j \leq J_i^{\text{норм}};$$

$$X_j \geq 0; i = 1 \div 3; j = 1 \div n;$$

Заполненная матрица (прил. 7) представляет собой оптимизационную задачу, постановка которой сводится к оценке минимального уровня загрязнения по одной из сред, определенного с использованием эластичности загрязнения и объемов промышленного производства по значимым отраслям.

### **3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

Состояние здоровья и продолжительность жизни населения являются важнейшими критериями общественного прогресса. Оценка заболеваемости и смертности населения в результате ухудшения качества окружающей среды приобретает все большую актуальность на различных уровнях управления национальным хозяйством.

В практику природоохранной деятельности в последнее время стала активно внедряться концепция управления, основанная на положениях риск-анализа, согласно которому индикатором риска снижения качества окружающей среды служит состояние здоровья человека, выраженное с помощью специальных показателей риска. Теория риска базируется на двух взаимосвязанных составляющих элементах – системе оценки риска и системе управления риском. Система оценки риска имеет своей целью установление объективной картины риска на определенной территории, количественных оценок риска и ущербов применительно к здоровью населения и окружающей среде. Управление рисками рассматривается как деятельность, направленная на снижение уровня рисков экономических потерь для хозяйственных объектов и населения, обусловленных ухудшением качества окружающей среды.

#### **3.1. Методы оценки воздействия загрязнения атмосферы на здоровье населения**

Прогрессирующее техногенное загрязнение атмосферного воздуха крупных промышленных городов приводит к очевидным негативным последствиям: увеличению антропогенной нагрузки на городскую среду, деградации растительности, усилению влияния вредных факторов среды обитания (факторов риска) и, как следствие, ухудшению здоровья населения. *Факторы риска* – это условия окружающей среды, существенно повышающие

риск возникновения заболеваний населения. Среди геоэкологических факторов риска здоровью горожан обычно выделяют уровень атмосферного загрязнения, качество питьевой воды, почвы, при этом по данным региональных исследований, приведенных в Соросовском образовательном журнале [42], загрязнение воздуха считается ведущим параметром дифференциации территории по состоянию среды обитания. Например, у детей в городах с металлургической промышленностью и высоким уровнем загрязнения воздуха (заболеваемость детского населения чаще всего является основным параметром общественного здоровья) по сравнению с контрольными группами замедлено физическое и нервно-психическое развитие. Воздействие атмосферных загрязнений сопровождается изменением функции внешнего дыхания, сердечно-сосудистой системы. Так, в городах с развитой нефтехимической промышленностью и вблизи автомагистралей у детей жизненная емкость легких, резервные объемы вдоха и выдоха снижены на 10-30 %, а у детей, проживающих рядом с предприятиями стройиндустрии с большим пылевым выбросом, - на 70 % [42]. По данным Б.А. Ревича [42], совместное действие пыли и некоторых загрязнителей в современных городах имеет высокотоксичный эффект, в частности: канцерогенный эффект наблюдается при совместном действии бензола, никеля, сажи, бензапирена и формальдегида; нарушение репродуктивной функции женщин и врожденные патологии – при соединении углеводов с тяжелыми металлами, такими как, свинец, ртуть, медь.

Для оценки влияния негативных изменений окружающей среды на здоровье населения в настоящее время преимущественно используется теория риска, позволяющая относительно просто рассчитать характеристики риска и стоимость риска на практике.

В соответствии с современными взглядами, риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием вредных факторов, и

нанесенного при этом социального, экономического, экологического, а в ряде случаев и эстетического ущерба [31].

Под экологическим риском понимается вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Выразиться экологический риск может в вероятностных величинах или в виде математического ожидания ущерба.

*Оценка экологического риска* – это научное исследование, в котором факты и научный прогноз используются для определения потенциально вредного воздействия на окружающую среду различных загрязняющих веществ и других агентов.

На практике при оценке риска для природных экосистем используют различные индексы и коэффициенты, например, коэффициент экологической опасности, предложенный Л. Хокансоном [20], определяемый частными коэффициентами загрязнения (на основе сравнения содержания химического вещества с установленным нормативом – ПДК), учитывающими опасность вещества. Общий коэффициент экологической опасности рассчитывается как произведение частных.

Имеется и еще один положительно себя зарекомендовавший показатель риска – индекс экологической опасности, представляющий сумму коэффициентов экологической опасности для всех химических веществ [41] и др.

При оценке влияния негативного изменения качества атмосферного воздуха от загрязнения выбросами опасность ухудшения здоровья количественно можно оценить на основе теоретических расчетов, а также статистических данных о результатах медико-экологических обследований. Теоретические расчеты и оценки, основывающиеся на статистическом материале, проводятся по схеме «доза – эффект». Под дозой понимается количественная мера вредного воздействия на организм, под эффектом –

патологические и иные последствия этого воздействия. Эта схема является приемлемой для всех видов организмов живой природы: человека, животных, птиц, обитателей водной среды, растений и микроорганизмов. Однако наибольшее практическое применение она находит в практике оценки ухудшения здоровья человека [41].

Определение уровня воздействия является стадией процесса оценки риска и представляет собой сложную процедуру, которая включает диагностику источников и характера выбросов, путей распределения загрязнителей и воздействия химического вещества для установления концентраций / доз, при которых может иметь место воздействие на человека (прил. 10). Используемый в международной практике алгоритм включает следующие действия:

1. Идентификация опасности (вредности): определяется какие факторы, при каких уровнях и путях воздействия, из каких сред могут вызвать неблагоприятные последствия для здоровья человека, а также насколько правдоподобна и подтверждена ассоциация между фактором и заболеванием. На данном этапе формулируются конкретные проблемы и приоритетные задачи, а также намечаются пути их решения. Приводится характеристика источников (инвентаризация), объемов выбросов (эмиссия), параметров, необходимых для расчета максимально разовых и среднегодовых концентраций. Определяются потенциально опасные факторы (абсолютно все присутствующие в окружающей среде вещества), формируется перечень приоритетных (наиболее опасных) факторов.

2. Оценка экспозиции. Включает характеристику источников загрязнения, маршрутов движения загрязняющих веществ от источника к человеку, пути и точки воздействия, уровни экспозиции и др.

Целью данного этапа является определение доз и экспозиций, воздействовавших в прошлом, в настоящем или тех, которые возможно будут оказывать действие в будущем, а также установление уровней экспозиции для популяции в целом и ее отдельных субпопуляций, включая сверхчувствительные группы.

В рамках работ, выполняемых на этапе, очерчиваются границы территории, выделяются группы населения, включая чувствительные подгруппы, исследуется маршрут воздействия по схеме «источник – восприимчивая среда – транспортирующие и трансформирующие среды – воздействующая среда – точка контакта – путь поступления – экспонируемая группа населения». Определяются воздействующие дозы и концентрации с учетом выбранного маршрута экспозиции (воздействующих сред и путей поступления). По итогам проведенных работ представляются следующие результаты:

- моделирование концентраций (модели рассеивания);
- моделирование межсредовых переходов (концентрации во всех воздействующих средах);
- данные по максимально разовым, среднегодовым концентрациям, статистическому распределению;
- данные прямого мониторинга (индивидуальный отбор проб);
- факторы экспозиции (суточная активность, потребление воздуха, воды, продуктов и др.);
- расчет воздействующих доз для населения в целом и отдельных чувствительных групп;
- расчет суммарных доз для всех маршрутов экспозиции, путей поступления, воздействующих сред; характеристика суммарной нагрузки.

Важнейшей частью работ этого этапа является определение концентрации каждого из загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе городов. Использование данных мониторинга, отражающих воздействие от всех источников загрязнения, не всегда возможно, так как замеры концентрации веществ, выбрасываемых в атмосферу, либо не осуществляются, либо осуществляются по ограниченному кругу загрязнителей, а в исследованиях, требующих идентификации выбросов от конкретного объекта, просто недопустимо. По этой причине для расчета приземной концентрации загрязняющих веществ применяется моделирование, которое в задаче оценки

риска дает возможность учесть заданность участка местности, неизменность состояния окружающей среды, механизм распространения токсинов и их воздействия на человека. На практике чаще всего применяют дисперсионные модели, позволяющие рассчитывать концентрацию в точке воздействия, использование других моделей ограничено.

В работе величина дозы рассчитывалась как среднесуточное поступление ЗВ в приземный слой, т.е. через массу выбросов. Ныне действующая «Методика определения предотвращенного ущерба», утвержденная Председателем Государственного комитета РФ по охране окружающей среды 30.11.1999 г. и Временная методика 1986 г., не позволяют получить укрупненную величину экологического ущерба и в этом плане мало пригодны для определения величины концентрации в приземном слое или среднесуточного поступления ЗВ, контактирующего с биологической тканью (организм человека).

Вариантом расчета величины среднесуточного поступления ЗВ на единицу массы человека может служить методика, в разработке которой принимали участие и авторы настоящего исследования [24].

В практической части работы выполнены расчеты двух вариантов оценки рисков от выбросов в атмосферу г. Екатеринбурга и г. Сухой Лог. Первый на основе данных мониторинга по концентрации ЗВ, второй по расчетным показателям поступления ЗВ в приземный слой через массу выбросов по методике [24].

3. Установление зависимости «доза – ответ» – выявление связи между состоянием здоровья (например, долей лиц, у которых развилось определенное заболевание) и уровнями экспозиции. Данный анализ проводится раздельно для канцерогенов и веществ, не обладающих канцерогенным действием, при этом выявляются:

- ПДК по санитарно-токсическому признаку вредности;
- референтные концентрации (уровни минимального риска);
- факторы канцерогенного потенциала;



- параметры зависимости «доза – ответ» для неканцерогенов (риск нарушения здоровья на единицу дозы/концентрации);
- поражаемые органы и системы, тяжесть изменений при разных уровнях воздействия;
- установление этиологической связи между экспозицией и фактическими показателями состояния здоровья населения, выявление вклада изучаемого фактора в риск развития нарушений состояния здоровья.

Методология медико-экологических исследований основана в значительной степени на предположении о том, что риск, создаваемый факторами окружающей человека среды, пропорционален его дозе (или концентрации). Предполагается также, что чем больше продолжительность контакта *фактора* с биологической тканью, тем больше вероятность неблагоприятных эффектов. На основании этого делается вывод о том, что для определения риска нужно знать осредненную воздействующую концентрацию (или дозу) и время, в течение которого эта концентрация (или доза) действовала на организм [41]:

$$LADI = \frac{C \cdot W \cdot F \cdot T_{ж}}{M \cdot T_o} \quad (29)$$

где  $LADI$  – средняя пожизненная доза, мг/(кг · день);

$C$  – средняя концентрация загрязняющего вещества в контактирующей с человеком среде, мг/м<sup>3</sup>;

$W$  – средний объем потребления среды человеком, м<sup>3</sup>/день ;

$F$  – время контакта со средой, дней/год;

$T_{ж}$  – средняя продолжительность жизни, лет;

$M$  – вес тела человека, кг;

$T_o$  – период времени действия дозы, дней.

4. Характеристика риска. На данном этапе выполняется анализ всех полученных данных, расчетов рисков для популяции и ее отдельных подгрупп, сравнение рисков с допустимыми (приемлемыми) уровнями, сравнительная

оценка и ранжирование различных рисков по степени их статистической, медико-биологической и социальной значимости.

*Цель этапа* - установление медицинских приоритетов и тех рисков, которые должны быть предотвращены или снижены до приемлемого для данного общества уровня, и выполнение следующих процедур:

- определения значений рисков для отдельных факторов при разных путях воздействия из определенных сред;
- расчета суммарных рисков для маршрутов воздействия, путей поступления, суммарных рисков для веществ с одинаковым типом вредного действия;
- расчета интегрированных индексов опасности для факторов с разным типом вредного действия, например, канцерогенов и неканцерогенов;
- анализа распределения рисков в популяции, в особо чувствительных подгруппах, выявление сверхэкспонируемых индивидуумов;
- сравнения многолетней динамики рисков на данной территории;
- ранжирования факторов, источников загрязнения, территорий;
- сравнительной характеристики рисков влияния на здоровье, экологических рисков, влияния факторов на условия и качество жизни населения;
- определения приоритетных проблем для данной территории.

Ключевой в этой последовательности процедур является стадия установления количественных характеристик воздействия на здоровье человека, определения индивидуального риска (*IR*), пожизненного риска (вероятность заболеть раком и умереть – *ILCR* и вероятность получить нераковое заболевание – *HI*) и популяционного риска (*PR*).

### 3.2. Экономическая оценка воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения

Количественно воздействие загрязнения на здоровье человека выражается в категориях экономических потерь, которые представляют собой индивидуальные или общественные расходы, которых можно избежать при сокращении экологического ущерба и воздействии на здоровье населения. На основе приведенного определения можно сгруппировать подходы, применяемые к оценке влияния условий окружающей среды на здоровье населения (рис. 8).



Рис. 8. Схема методических подходов, используемых для оценки воздействия на здоровье населения, ухудшения качества окружающей среды

Для оценки *индивидуальных потерь*, чаще всего применяются методики, основанные на *затратном подходе*. В основе таких методик лежит оценка индивидуальных дополнительных затрат человека, связанных с вредным воздействием окружающей среды на условия его жизнедеятельности.

Оценка *общественных потерь* производится с помощью *доходного подхода*, который основан на определении величины потенциального дохода, недополученного обществом в результате потери жизни полностью или частично отдельным человеком.

*Затратный подход* предполагает оценку стоимости всех дополнительных затрат, возникающих у человека и связанных с потерей здоровья под воздействием условий окружающей среды. Перечень таких затрат достаточно обширный, и может варьироваться в разных методиках. Чаще всего выявляются и количественно оцениваются прямые и косвенные расходы, связанные с заболеванием. К ним обычно относятся:

- расходы на медикаменты превентивного характера;
- расходы на медикаменты для лечения острых и хронических заболеваний;
- стоимость экстренного лечения (скорая помощь, интенсивная терапия);
- стоимость лечения в стационаре (уход за больными и амбулаторные услуги);
- стоимость лечения на дому; стоимость реабилитации; потеря трудоспособности; перераспределение дохода;
- нематериальные затраты (страдания, связанные с заболеванием или смертью).

Состав и характеристика затрат, формирующих эти расходы приводятся в соответствии с перечнем по источнику [42].

#### *Расходы на медикаменты (меры превентивного характера и лечение)*

Получение сумм денежных значений для первых двух отмеченных категорий затрат требует наличия данных по использованию и стоимости медикаментов для предупреждения заболевания и его лечения (розничная цена

лекарственных средств). В случае с государственным сектором (или страховыми компаниями), если цена на медикаменты дотируется, необходимо получить реальную цену. Для проведения расчетов общей стоимости используют данные по стоимости единицы случая лечения или принятия мер превентивного характера для всех людей, у которых выявлены эти симптомы (например, среднегодовая стоимость лекарств на категорию заболевания).

*Стоимость экстренного медицинского вмешательства и пребывания в стационаре*

Затраты на экстренное вмешательство включают транспортирование машиной скорой помощи, стоимость персонала, а также возможно расходы на интенсивную терапию в больнице. Стоимость стационарного лечения (интенсивная терапия, уход за больными и амбулаторное лечение) должны быть предоставлены за день пребывания в стационаре, предпочтительно по категориям в зависимости от интенсивности лечения. По крайней мере, данные затраты должны покрывать среднюю оплату (зарплата + социальные выплаты) труда в больнице, включая технический персонал (уборка, приготовление еды, пр.), медсестер, врачей и докторов. Необходимо подсчитать и стоимость лекарственных средств в стационаре в соответствии с оптовыми ценами.

В случае необходимости расчета реальной общей себестоимости лечения в больнице требуется включить все капитальные затраты и текущие расходы больницы и ее служб, основанные на бухгалтерских данных, т.е. техническое обслуживание, оплату за электричество, воду, пр.

*Стоимость лечения на дому*

Лечению на дому присваивается стоимость в случае, когда его предоставляют общественные фонды или услуги здравоохранения, и оплата производится в частном порядке. В состав затрат на амбулаторное лечение включают составляющие, описанные в предыдущем разделе, а именно, общие расходы на зарплату по обработке вызова. Лечение на дому в основном проводится родственниками или друзьями пациента. В ряде случаев это может занимать достаточно длительное время. Однако присвоение значения

стоимости ухода, оказываемого ближайшими родственниками, затруднительно. Если эта категория включается в инвентаризацию, то можно использовать значение стоимости упущенной выгоды, т.е. заработок, потерянный человеком, в результате ухода за больным. Лечение на дому может вызвать необходимость проведения ремонта и покупки специальных приспособлений для поддержания жизнедеятельности больного. Стоимость этих компонентов также должна быть включена в полную инвентаризацию.

#### *Стоимость реабилитации*

Расчет стоимости реабилитации аналогичен составлению инвентаризации лечения в больнице. В этом случае необходимы данные по количеству и продолжительности реабилитационного лечения, наряду с соответствующими расчетами общей стоимости дня (или часа) пребывания в больнице, лечебном учреждении или лечения на дому.

#### *Потерянная работоспособность*

Заболевания и смерть приводят к потере работоспособности (потерянной производительности), что означает потерю личного дохода и производственные потери для работодателей. Традиционный подход учета таких потерь основан на усреднении вклада работника, выраженного как ВВП на душу населения. Это может быть определено из валовой цифры, включая средний заработок (например, личное потребление) и вклад в ВВП в виде рабочей силы, или как чистый ВВП личного потребления. Если для расчета потери личного дохода используется заработная плата, то необходимо рассчитать средневзвешенные значения по отношению к численности работающего населения по различным категориям заработной платы.

Для оценки потерянного заработка и производительности необходимо знать среднюю продолжительность периода нетрудоспособности по основным категориям заболеваний, а также количество потерянных работоспособных лет по причине преждевременной смерти. Производственные потери и потери дохода рассчитываются для всего населения достаточно просто как средний годовой ВВП на душу населения, без разделения людей на категории трудовых

ресурсов (в основном дети, безработные, пенсионеры и нетрудоспособные). Годовой ВВП также может быть усреднен по отношению к рабочему дню.

#### *Перераспределение дохода*

Люди, теряющие работоспособность, или член семьи, оказывающий поддержку больному, вероятнее всего получают перераспределение доходов со стороны государства, например, в форме пенсии по утере трудоспособности, обеспечивающей средства проживания. Это дополнительные расходы, вызванные заболеванием, причиной которого может быть плохое качество вод или атмосферного воздуха.

Перераспределение дохода может быть рассчитано путем усреднения пенсий по отношению к общему числу пенсионеров, получающих пенсии.

#### *Будущие прогнозы материальных статей расходов*

С целью получения будущих изменений приведенных выше статей расходов, например в системе «затраты – выгоды», некоторых экологических инициатив следует текущие значения скорректировать с учетом коэффициента инфляции, так как со временем можно ожидать изменения стоимости лекарственных препаратов и расходов на лечение. Также могут произойти изменения в производственных возможностях людей в случае прироста ВВП на душу населения. Очевидной проблемой в этом случае будет выбор правильного индекса цен, особенно при высокой инфляции. Обычно с этой целью используют низкие процентные ставки, способствующие пролонгированным потокам прибыли.

Перечисленные виды затрат также предполагают потерю некоторого *материального благополучия*. В дополнение к этим затратам меняется благополучие человека от *общего качества жизни*, т.е. *нематериальная составляющая ущерба*.

Нематериальные потери предлагается оценивать [42]:

1. С помощью оценки стоимости статистической жизни
2. С помощью стоимости потерянных лет жизни.

*Стоимость статистической жизни* традиционно оценивается эмпирическими методами:

1. Сравнение заработной платы и профессиональных рисков – традиционный способ (риск оценивается через прирост заработной платы по профессиям, связанным с различным уровнем риска). Таким образом, можно экономически оценить прирост риска посредством увеличения заработной платы.

2. Опрос населения с целью выявления готовности платить за снижение риска. Наиболее распространенный способ заключается в установлении суммы, которую готов платить человек за снижение среднего риска на один процент сокращения риска. *Деление средней стоимости риска на процент его сокращения приводит к получению статистической потерянной жизни.* Основной недостаток данного подхода – предположение о линейной зависимости между изменением риска и желанием платить, что недостаточно корректно. Кроме того, сокращение риска может считаться незначительным в сравнении с другими проблемами, с которыми человек сталкивается в повседневной жизни.

3. Обособление характеристик для снижения риска в ценах продуктов, с которыми связаны риски. Метод основан на готовности людей внести вклад (готовность платить) за возможность избежать рисков.

В различных исследованиях проводимых в странах Европы использовалась стоимость статистической жизни в размере 3,1 млн.евро.

*Стоимость потерянных лет жизни* – альтернативный подход оценки воздействий заболеваний, позволяющий получить значение стоимости потерянных лет жизни. Основой для расчета является стоимость статистической жизни [41].

Соотношение между стоимостью статистической жизни и потерянных лет жизни в расчетах острой смертности описывается формулой



$$VOSL_a = VOLY_r \cdot \sum_{i=l+a}^T P_i (1+r)^{i-a-l}, \quad (30)$$

где  $VOLY_r$  – стоимость потерянных лет жизни;

$VOSL_a$  – стоимость статистической жизни;

$P_i$  – условная вероятность доживания до года  $i$ , дожив до года  $a$ ;

$a$  – возраст лиц, для которых рассчитывается стоимость статистической жизни;

$T$  – верхняя возрастная граница;

$r$  – коэффициент дисконтирования.

На практике получила эмпирическое подтверждение и аналитическая зависимость оценки хронических эффектов.

$$VOLY_{chron}^r = \sum_{i=l}^{i=T} \frac{YOLL_i}{YOLL_{tot}} \cdot \frac{VOLY^r}{(1+r)^{i-l}}, \quad (31)$$

где  $YOLL_i$  – число лет потерянной жизни как результат роста опасности в год  $i$  в каждый будущий год;

$YOLL_{tot}$  – общее число потерянных населением лет.

Основным недостатком такого подхода является его трудоемкость и сложность расчетов.

Основные условия реализации этого подхода состоят, во-первых, в классификации диагностируемых симптомов, связанных с определенными загрязняющими веществами (прил. 10), а во-вторых, с получением статистических данных по числу и продолжительности случаев заболеваний и количества смертей за год.

*Общественные потери*, как правило, определяются на основе доходного подхода, т.е. дохода, который недополучен в результате потерянной жизни полностью или частично.

Для расчета экономических показателей определяются натуральные показатели ущерба – количество дополнительных случаев смерти или количество потерянных лет жизни. Такой расчет основывается на определении индивидуального и популяционного риска.

Таким образом, основной задачей становится определение *натуральных* показателей ущерба, т. е. количества дополнительных случаев смерти.

Наиболее приемлемой и апробированной представляется международная методика определения риска (индивидуального и популяционного). Для определения риска по каждому канцерогенному загрязнителю устанавливается фактор потенциала ( $SF$ ), который является основой пересчета для среднесуточного поступления канцерогенного загрязнителя ( $C$ ) в индивидуальный пожизненный риск ( $IR$ ) и пожизненный риск смерти ( $IRCR$ ):

$$IR = C \cdot SF, \quad (32)$$

$$IRCR = LADI \cdot SF. \quad (33)$$

Популяционный риск определяет число случаев смерти или заболеваний, которые могут возникнуть во всей популяции или в отдельных ее группах в результате воздействия изучаемого загрязнения.

Расчет *общественных потерь* в результате преждевременной смерти основан на усреднении вклада работника, выраженного в ВВП на душу населения с учетом временного фактора. Потери общества на одного умершего с учетом количества лет жизни можно определить по формуле

$$\sum_{i=1}^n PV = \frac{FV}{(1+r)^n}, \quad (34)$$

где  $PV$  – текущие потери, д.е.;

$FV$  – будущие потери, д.е.;

$r$  – процентная ставка (принимается на уровне депозитной ставки), ед.;

$n$  – количество потерянных лет жизни.

Наиболее удобным методом определения экономических потерь является именно доходный подход, его отличает простота применения и наглядность, поскольку он позволяет осуществить пересчет дополнительных случаев смерти к фоновой смертности в годы сокращения продолжительности жизни населения.

### **3.3. Расчеты уровня популяционного риска от выбросов в атмосферу для муниципальных образований (на примере г. Екатеринбурга и г. Сухого Лога от выбросов бензапирена и мелкодисперсной пыли)**

Предварительная оценка опасности воздействия загрязняющих веществ в составе выбросов в атмосферный воздух крупных городов может быть сориентирована на ряд отдельных показателей, в состав которых включается «индекс опасности» [41], определяемый отношением оценки дозы к допустимой среднесуточной дозе (аналог используемого показателя «средняя концентрация примесей в долях ПДК»). В случае если индекс опасности выше единицы, для характеристики риска используется оценка экспонированных к уровням.

Согласно Государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 г.» г. Екатеринбург по характеристике загрязнения атмосферного воздуха испытывает наибольшую нагрузку по бензапирену (показатель средней концентрации примесей в долях ПДК), причем динамика показателя по годам положительная. Кроме того, бензапирен относится к приоритетным ЗВ (прил.10), т.е. обладает высокой токсичностью, являясь канцерогеном. По этим параметрам он был отобран для характеристики уровней и стоимостной оценки рисков здоровью населения. Другим загрязняющим веществом, выбранным для исследования воздействия на здоровье населения, стала мелкодисперсная пыль ( $PM_{10}$ ), по которой также наблюдается кратность превышения ПДК по г. Екатеринбургу и г. Сухому Логу (цементный завод).

В качестве источника исходных данных для оценки уровня риска служил Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 г.». Результаты расчетов популяционного риска от наступления преждевременных случаев смерти от таких факторов как бензапирен

(канцероген) и пыль ( $PM_{10}$ ) по г. Екатеринбург и мелкодисперсная пыль г. Сухой Лог приводятся в табл. 20, 22, 25, 27.

1. Расчет величины популяционного риска преждевременных случаев смерти, выполненный на основе данных по концентрации бензапирена, в г. Екатеринбург.

Таблица 19

Расчет среднесуточного поступления бензапирена  
(исходные данные – концентрация бензапирена), 2004 г.

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Средняя концентрация БП в воздухе*	$C_{cp}$	0,000 002 3	мг/м <sup>3</sup>
2. Предельно допустимая концентрация БП	ПДК	0,000 000 1	мг/м <sup>3</sup>
3. Объем воздуха, проходящего через легкие**	$V$	30	м <sup>3</sup> /день
4. Средняя масса человека	$m$	70	кг

\* средняя концентрация определяется по соотношению  $2,3 \cdot \text{ПДК}$

\*\* для перевода средней концентрации БП в воздухе в концентрацию, приходящуюся на 1 кг массы человека использована формула

$$C = (C_{cp} \cdot V) / m$$

Таблица 20

Популяционный риск преждевременных случаев смерти  
в расчете на численность населения г. Екатеринбург, 2004 г

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Концентрация БП на 1 кг	$C$	$0,99 \cdot 10^{-5}$	мг/кг/день
2. Фактор потенциала	$SF$	7,3	(мг/ кг/день) <sup>-1</sup>
3. Индивидуальный риск – пожизненный – годовой	$IR$	$7,22 \cdot 10^{-5}$ $0,1 \cdot 10^{-5}$	
4. Численность населения	$ч$	$1331 \cdot 10^3$	чел.
5. Популяционный риск – пожизненный – годовой	$PR$	93,1 1,33	

2. Расчет величины популяционного риска от выбросов бензапирена в Екатеринбурге в 2004 г. на основе данных по *массе выбросов* бензапирена.

Используя методику расчета среднесуточного поступления на основе массы выбросов [24], выполним расчеты оценки популяционного риска по фактору (бензапирен – БП) для г. Екатеринбурга в 2004 г.

Таблица 21

Исходные данные для расчета популяционного риска от выбросов бензапирена в г. Екатеринбурге в 2004 г. (масса выброса БП)

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
Масса выброса БП в воздух*	<i>M</i>	15 600 000	мг/год

\* – масса выброса бензапирена в г. Екатеринбурге определена укрупненно по общей доле выбросов Екатеринбурга в их суммарной массе по Свердловской области. Полученная доля условного выброса бензапирена по городу скорректирована на коэффициент, равный удельному весу объемов загрязнения от металлургического комплекса в общей массе загрязнения (52 %), так как бензапирен является приоритетным для производств, относящихся к данной отрасли (0,78 % от общей массы выбросов по городу).

В соответствии с методикой [24], если в зоне активного загрязнения не производится замеров концентрации загрязняющих веществ, то приблизительная величина среднесуточного поступления, рассчитанная на единицу веса тела человека, может быть найдена по формуле:

$$C = \frac{\sum m_i \cdot V}{h \cdot S \cdot T \cdot M} \cdot f, \quad (35)$$

где  $m_i$  – фактическая масса загрязняющего вещества  $i$ -го вида, выбрасываемая за год, т/год;

$h$  – высота приземного слоя (в расчетах принимается равной 2 м), м;

$f$  – поправка, учитывающая характер рассеивания загрязняющего вещества в атмосфере;

$S$  – площадь зоны активного загрязнения (ЗАЗ), м<sup>2</sup>;

$T$  – количество дней в году;

$V$  – объем воздуха, проходящего через легкие человека в течении суток;

$M$  – масса тела человека, 70 кг.

$f$  – поправка (безразмерная величина), учитывающая характер рассеивания в атмосфере.

Поправка  $f$  определена для частиц со скоростью оседания менее 1 см/с, выбрасываемых после пылеочистки с коэффициентом улавливания свыше 90 %. Выбор осуществляется при следующих условиях: разность температур  $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$ , средняя высота источника выброса 150 м. Поправка составляет 0,23 (по данным прил. 9).

В расчетах площадь загрязнения приравнена к площади города Екатеринбурга ( $S = 200 \text{ км}^2$ ), это обусловлено значительным содержанием бензапирена в выбросах от передвижных источников, а также рассредоточением крупных стационарных источников выброса БП по территории города.

Таблица 22

Расчет популяционного риска от выбросов бензапирена в г. Екатеринбурге  
в 2004 г. (исходные данные – масса выброса БП)

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Концентрация БП на 1 кг	$C$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	мг/кг/день
2. Фактор потенциала	$SF$	7,3	мг/ кг/день <sup>-1</sup>
3. Индивидуальный риск – годовой – пожизненный	$IR$	$0,11 \cdot 10^{-5}$ $7,7 \cdot 10^{-5}$	–
4. Численность населения	$ч$	$1331 \cdot 10^3$	чел.
5. Популяционный риск* – годовой – пожизненный	$PR$	1,46 102,4	–

\* – расхождение в расчетах, приведенных в п. 2, объясняется различным соотношением бензапирена в составе выбросов области и г. Екатеринбурга (масса выбросов бензапирена по городу была принята по его доле в массе выбросов области с доминированием выбросов от отраслей черной и цветной металлургии).

3. Расчет величины популяционного риска от выбросов мелкодисперсной пыли в г. Екатеринбурге в 2004 г. на основе концентрации.

Исходные данные для расчета популяционного риска от выбросов пыли по г. Екатеринбургу приняты по Государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 г.»:

Расчет популяционного риска от загрязнения неканцерогенными веществами осуществляется с использованием другой модели [42], хотя некоторые авторы и методики используют приведенную выше методику расчета риска для канцерогенов с изменением значения фактора потенциала.

Годовой популяционный коэффициент риска (ГПКР) от воздействия взвешенных веществ

$$ГПКР = C / 0,01 \cdot 0,0059 \cdot Ч / T_{ж}, \quad (36)$$

где 0,0059 – индивидуальный коэффициент риска от воздействия взвешенных веществ (количество случаев смерти человека на каждый 10 мкг/м<sup>3</sup>).

Таблица 23

Расчет средней концентрации пыли в воздухе от промышленных выбросов в г. Екатеринбурге в 2004 г. (исходные данные – концентрация)

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Средняя концентрация пыли в воздухе	$C_{cp}$	0,114	мг/м <sup>3</sup>
2. Предельно допустимая концентрация пыли**	$ПДК$	0,19	мг/м <sup>3</sup>
3. Объем воздуха, проходящего через легкие*	$V$	30	м <sup>3</sup> /день
4. Средняя масса человека	$m$	70	кг

\* для перевода средней концентрации пыли в воздухе в концентрацию, приходящуюся на 1 кг массы человека  $C = C_{cp} \cdot V / m$

\*\* предельно допустимая концентрация пыли определена как средневзвешенная величина ПДК входящих в пыль компонентов.

Расчет общей величины взвешенных веществ пыли приведен в табл. 24.

Таблица 24

Исходные данные для определения средневзвешенной величины ПДК по компонентам пыли

Компонент	ПДК	Масса выброса, тыс.т.	Удельный вес в общей массе, %
Всего взвешенных веществ	0,15	3,055	100
Свинец	0,0003	$3,05 \cdot 10^{-5}$	0,001
Пыль неорганическая	0,37	0,54	17,8
Твердые фториды	0,01	$1,83 \cdot 10^{-4}$	0,006
Прочие взвешенные	0,15	2,51	82,193

На основе данных по ПДК и удельного веса каждого компонента пыли в ее общей массе средневзвешенная величина ПДК составит

$$ПДК = 0,0003 \cdot 10^{-5} + 0,37 \cdot 0,178 + 0,01 \cdot 6 \cdot 10^{-5} + 0,15 \cdot 0,82193 = 0,19.$$

Таблица 25

Расчет популяционного риска от выбросов пыли в г. Екатеринбург в 2004 г. (исходные данные – концентрация)

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Концентрация пыли на 1 кг*	<i>C</i>	0,029	мг/кг/день
2. Индивидуальный риск – годовой – пожизненный	<i>IR</i>	$0,025 \cdot 10^{-2}$ $1,72 \cdot 10^{-2}$	–
3. Численность населения	<i>ч</i>	$1331 \cdot 10^3$	чел
4. Популяционный риск – годовой – пожизненный	<i>PR</i>	4,69 328,1	–

\* – расчет концентрации выполнен с учетом содержания мелкодисперсной пыли (60 %) PM<sub>10</sub> в общей массе пыли [41].



4. Расчет величины популяционного риска от выбросов мелкодисперсной пыли в г. Сухом Логу в 2004 г. на основе массы выброса.

Исходные данные для расчета приняты по Государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 г.».

Таблица 26

Исходные данные для определения среднесуточного  
поступления пыли в организм человека

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Масса выброса пыли в воздух	$M$	$3,3 \cdot 10^{12}$	мг/год
2. Степень очистки	—	90	%

Для расчетов концентрации пыли использована приведенная выше методика [24]. В соответствии с ней выполнен расчет площади активного загрязнения ( $110 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ ). Для определения величины  $S$  организованных источников использованы следующие формулы:

$$S = \pi \cdot \left( r_{\text{внеш}} - r_{\text{внутр}} \right)^2 = 110142751 \text{ м}^2,$$

где  $r_{\text{внеш}}$  – внешний радиус зоны активного загрязнения;

$$r_{\text{внеш}} = 20 \cdot \varphi \cdot h' = 6580,68 \text{ м},$$

где  $\varphi$  – поправка на подъем факела выброса в атмосфере;

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75^0 \text{ C}} = 3,1,$$

где  $\Delta T$  – среднегодовое значение разности температур в устье источника (трубы) и в окружающей атмосфере,  $^0\text{C}$ . В расчетах принята средневзвешенная величина  $\Delta T$ , равная 158 (использование средневзвешенной  $\Delta T$  допустимо, так как температура в устье основного источника и воздуха близки);

$h'$  – высота источника (трубы), м; средневзвешенная величина ее равна 106,14 м;

$r_{внутр}$  – внутренний радиус зоны активного загрязнения;

$$r_{внутр} = 2 \cdot \varphi \cdot h' = 658,07 \text{ м.}$$

Таблица 27

Расчет популяционного риска от выбросов пыли в г. Сухом Логу

в 2004 г. на основе массы выброса пыли

Показатель	Обозначение	Величина	Единицы измерения
1. Концентрация пыли на 1 кг	$C$	0,53	мг/кг/день
2. Индивидуальный риск – годовой	$IR$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	–
3. Численность населения	$ч$	$35,7 \cdot 10^3$	чел.
4. Популяционный риск	$PR$	175	–

#### 5. Расчет стоимости заболеваний, связанных с преждевременной смертью.

Определение потерь в результате преждевременной смерти, вызванной влиянием окружающей среды на здоровье человека, приводит к смертельному исходу крайне редко, в силу чего расчеты стоимости (или затрат) на один случай заболевания, связанный с преждевременной смертью, выделены в самостоятельную область исследования.

В данной версии расчет случаев смерти от влияния рассматриваемых факторов (бензапирен, мелкодисперсная пыль) выполнен укрупненно с использованием показателей годового индивидуального риска, фоновой заболеваемости (смертности) и количества лет сокращения продолжительности жизни, соответствующей одному случаю смерти по анализируемому фактору.

Стоимостная оценка риска здоровью от бензапирена (канцероген) основывается на затратном подходе (нематериальная оценка потерь) с использованием метода «Стоимость потерянных лет жизни». Данный метод является альтернативным к оценке воздействий на заболеваемость, поскольку применяется к заболеваниям, влекущим смертельный исход, и позволяет

получить значение стоимости потерянных лет жизни. Расчетной базой является стоимость статистической жизни [41].

Соотношение между стоимостью статистической жизни и потерянных лет жизни для расчета острой смертности описывается формулой 30.

В настоящем исследовании для получения укрупненной стоимостной оценки риска здоровью используются данные работы [41], позволяющие осуществить пересчет индивидуального годового риска в соответствующие дни сокращения продолжительности жизни. Согласно методике [41] годовому риску  $10^{-4}$  соответствует 1-2 дня сокращения продолжительности жизни, что в пересчете на 1 случай смерти составляет примерно 30 лет сокращения срока жизни (потерянные годы жизни =  $IR \cdot 2 \cdot 4 / 365 \cdot 10^{-4}$ ).

Стоимость статистической жизни рассчитывается через уровень среднегодовой заработной платы в отраслях-загрязнителях (металлургический комплекс). Расчеты приведены в табл. 28, 29.

Экономическая оценка (потери) от воздействия мелкодисперсной пыли выполняется с использованием метода расчета дополнительных случаев смерти к фоновой смертности и применением доходного подхода, учитывающего недополученную величину валового внутреннего (регионального) продукта и сумму недопоступления налогов в бюджеты разного уровня.

Число дополнительных случаев смертности населения от воздействия мелкодисперсной пыли рассчитано в годовом разрезе, стоимость (потери) каждого дополнительного случая смерти – исходя из величины недополученного среднестатистического дохода и не поступивших сумм налогов в бюджет и внебюджетные фонды. Расчеты приведены в табл. 28 и 29.

Таблица 28

## Натуральные показатели ущерба от загрязнения атмосферы

Фактор воздействия	Потерянные годы жизни	Дополнительные случаи смерти*
Бензапирен	72,9	-
Мелкодисперсная пыль (PM <sub>10</sub> )		
– муниципальное образование г. Екатеринбург	-	328
– муниципальное образование г. Сухой Лог	-	175

\* дополнительные случаи смерти определяются исходя из величины годового популяционного риска для неканцерогенных загрязняющих веществ.

Оценка потерь на основе затратного подхода осуществлялась укрупненно с использованием в качестве затрат единственного показателя – недополученной заработной платы. В период болезни человеку выплачивается социальное пособие по временной нетрудоспособности, однако, в расчетах не учитывается часть дополнительных затрат на приобретение медикаментов и оплату медицинских услуг, которые полностью компенсируют получаемые в период нетрудоспособности выплаты. Таким образом, можно предположить, что реальная величина потерь окажется несколько больше, чем расчетная. Средний уровень заработной платы металлургической отрасли принят равным 12000 руб./мес., он определен на основе среднемесячной заработной платы по г. Екатеринбургу (7400 руб./мес.) с учетом повышающего коэффициента для металлургических предприятий 1,5.

## Стоимость потерь от увеличения случаев смертности

Фактор воздействия	Показатель	Сумма, млн. руб. в год
Затратный подход к оценке стоимости потерь:		
Бензапирен (МО г. Екатеринбург)	1. Недополученная заработная плата в отраслях загрязнителях (металлургический комплекс), обусловленная сокращением жизни населения от воздействия бензапирена	10,5
Доходный подход к оценке стоимости потерь:		
Мелкодисперсная пыль	1. Недополученный среднедушевой доход* от действия мелкодисперсной пыли;	
	1.1. в г. Екатеринбурге	28,3
	1.2. в г. Сухой Лог	15,1
	2. Недополученные суммы поступлений налогов (ЕСН, НДФЛ) в бюджет и внебюджетные фонды от действия мелкодисперсной пыли;	
	2.1. в г. Екатеринбурге	11,3
	2.2. в г. Сухой Лог	6,1
	3. Итого недополученный доход от действия мелкодисперсной пыли	
	3.1. в г. Екатеринбурге	39,6/0,03%**
	3.2. в г. Сухой Лог	21,2/0,7%**

\* – величина среднедушевого дохода приведена в табл. 2 и составляет  
7,188 тыс. руб./мес. чел.

\*\* – доля потерь в совокупном доходе населения города.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс реформирования системы управления охраной окружающей природной среды, пройдя путь от неявно выраженных, концептуально обозначенных тенденций, за последние два десятилетия обрел совершенно четкие организационно-институциональные формы. Включение в систему блока экологической безопасности потребовало методического обеспечения проблемы диагностики экологической безопасности и оценки ее состояния для ранжирования неблагополучных территорий и определения приоритетов их развития.

С этой целью в настоящем исследовании разработана методика оценки экологической безопасности территории (региона) и на ее основе выполнена диагностика экологического состояния Свердловской области. Проведенные расчеты подтвердили высокий уровень (коэффициент опасности составил 4,82 ед.) антропогенной нагрузки на природную среду, особенно для атмосферы. В целом территория области находится в зоне экологического кризиса.

Моделирование воздействия промышленных объектов на загрязнение атмосферы на перспективный период показывает снижение уровня выбросов от каждой исследуемой отрасли (эластичность загрязнения воздуха – отрицательная) и минимальный уровень отклонения среднего темпа роста удельной массы загрязнения воздуха от ее предельного значения, полученного при оптимизации целевой функции.

Влияние загрязнения атмосферы на здоровье людей изучалось с использованием стандартной методики оценки риска здоровью населения (ЕРА) на примере воздействия двух основных факторов (бензапирен и мелкодисперсная пыль) на организм человека. Полученные результаты расчетов для г. Екатеринбурга и г. Сухого Лога по уровню популяционного риска подтверждают выводы о неблагополучии экологической ситуации в области и ее муниципальных образованиях, имеющих мощные промышленные источники загрязнения. Суммарная стоимость потерь, связанная с сокращением продолжительности жизни до среднестатистического уровня (недожитие) по причине воздействия экологических факторов по г. Екатеринбургу, составила более 39 млн. руб.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимов Т.А. Экология: учебник для вузов / Т.А. Акимов, В.В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 455 с.
2. Акимов Т.А. Основные критерии экоразвития. / Т.А. Акимов [и др.]. – М.: Изд. Рос. экон.акад., 1994. – 56 с.
3. Анализ и моделирование эколого-экономического состояния региона: Свердловская область / И.С. Белик [и др.]. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 109 с.
4. Бабина Ю.В. Методические подходы к классификации субъектов Российской Федерации по характеру экологических проблем для целей государственного управления / Ю.В. Бабина, Н.Д. Михайлова. // Вестник Моск. ун-та. Сер. 6. Экономика. – 1996. – № 4. – С. 43 – 45.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты экологической безопасности, устойчивое развитие и природоохранные проблемы. – М.: МГФ Знание, 1999. – 704 с.
6. Быков А.А. К обоснованию группы основных критериев экологической безопасности при антропогенном воздействии / А.А. Быков, В.А. Клименко // Страховое дело. – 1998. – № 1. – С. 59 – 63.
7. Быков А.А., Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы / А.А. Быков, Н.В. Мурзин. – СПб: Наука, – 1997. – 247 с.
8. ГОСТ Р 1.0 – 92. Режим доступа /<http://www.pojar.ru/>
9. Государственная стратегия экономической безопасности РФ (Основные положения): Указ Президента РФ № 608 от 29.04. 1996 г. – М., 1996.
10. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2002 году.– Екатеринбург: Изд-во Правительства Свердловской области, 2003.–314 с.

11. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2004 году. – Екатеринбург: Изд-во Правительства Свердловской области, 2005.–320 с.
12. Закон РФ «О безопасности» от 05.03.1992 г. №2646-I. – М., 1992.
13. Интегральные показатели эколого-экономического состояния территории и их использование для прогнозирования социально-экономического развития Свердловской области / И.С. Белик [и др.]. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 99 с.
14. Комплексная методика диагностики экономической безопасности территориальных образований РФ. Ч. 1, 2: Методические положения диагностики экономической безопасности территорий регионального уровня. Пороговые уровни индикаторов экономической безопасности территорий регионального уровня / А.И. Татаркин [и др.]. Препринт. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, – 2001.
15. Концепция национальной безопасности: Указ Президента РФ № 1300 от 17.12.1997 г. – М., 1997.
16. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию // Зеленый мир. – 1996. – № 12.
17. Концепция экологической безопасности Российской Федерации // Зеленый мир. – 2001. – № 1-2. – С. 4.
18. Концепция экологической безопасности Свердловской области на период до 2015 года. Постановление Правительства Свердловской области от 16 июня 2004 г. № 505-ПП. – Екатеринбург, 2004.
19. Куклин А.А. Социально-экономическое обоснование экологической безопасности региона / А.А. Куклин, И.С. Белик, Н.Л. Никулина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 145 с.



20. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия // Зеленый мир. – 1994. – № 11 – 14.
21. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. / А.В. Леоненков. – СПб: БВХ-Петербург, 2005. – 704 с.
22. Методика расчета экологической техноёмкости территории (к проекту 2.5.6.) / Т.А. Моисеевкова, В.В. Хаскин. – М.: Российская экономическая академия им. Г.В. Плеханова, 1992. – 48 с.
23. Орехов Н.А. Математическое моделирование в экологии / Н.А. Орехов, А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: ЮНИТИ, 2003. – 248 с.
24. Пермяков В.Г. Совершенствование экономического механизма охраны атмосферного воздуха от загрязнений, наносимых промышленными предприятиями: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / В.Г. Пермяков / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2002.
25. Охрана окружающей среды в Свердловской области за 2004 год: Статист. сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области. – Екатеринбург, 2005. – 58 с.
26. Региональный план действий по охране окружающей среды для Свердловской области на период до 2015 года. – Екатеринбург: ЦТРП, – 2001. – 245 с.
27. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002: Статист. сборник / Госкомстат России. – М, 2002. – 863 с.
28. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2004: Статист. сборник / Федеральная служба государственной статистики. – М., 2004. – 863 с.
29. Регионы Уральского федерального округа: итоги экономического и социального развития в 2004 году: статист. сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области. – Екатеринбург, 2005. – 49 с.

30. Сафронов Е.В. Эколого-экономическая безопасность территории: учеб. пособие / Е.В. Сафронов, Н.Л. Никулина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 103 с.
31. Сидорчук В.Л. Экологический аудит в системе управления природопользованием: муниципальный уровень / В.Л. Сидорчук, Р.Т. Давыдова. – М.: РЭФИА, 2001. – 356 с.
32. Социально-экономическое положение Свердловской области за январь – декабрь 2003 г.: статист. сборник / Свердловский областной комитет государственной статистики. – Екатеринбург, 2003. – 157 с.
33. Теоретико-методологические подходы к обоснованию социально-эколого-экономической безопасности территории / А.А. Куклин, И.С. Белик, Н.Л. Никулина. Препринт. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2004.–30 с.
34. Тихомиров Н.П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов / Н.П. Тихомиров, И.М. Потравный, Т.М. Тихомирова; под ред. проф. Н.П. Тихомирова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
35. Хильченко Н.В. Методика укрупненной экономической оценки экологического ущерба (для условий Свердловской области) / Н.В. Хильченко, А.А. Литвинова. Препринт. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2002. – 35 с.
36. Хлобыстов Е.В. Оценка и моделирование экологической безопасности промышленного производства: региональный аспект. Режим доступа: <http://www.icfcst.kiev.ua/forform/khlobystov.htm/>
37. Хоружая Т.А. Оценка экологической опасности / Т.А. Хоружая. – М.: Книга сервис, 2002. – 208 с.
38. Щербаков Д.И. Экономический механизм стимулирования охраны атмосферы: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05, 11.00.11 / Д.И. Щербаков / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 1999. – 171 с.

39. Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов / П.Д. Шимко, М.П. Власов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 409 с.
40. Экологическая доктрина Российской Федерации. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р. Режим доступа: /<http://www.eco-net.ru>
41. Экономический анализ воздействия на окружающую среду / А. Джон [и др.]. – М.: Вита, 2000. – 230 с.
42. Экономическая оценка воздействий. Режим доступа /[http://rusrec.ru/homepage/news/nat\\_report/nat\\_report.htm](http://rusrec.ru/homepage/news/nat_report/nat_report.htm).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Исходные данные для расчета уровня экологической безопасности территориальных образований

Показатели	Значения
1. Площадь территории, тыс. км <sup>2</sup>	194,3
2. Средняя скорость ветра, м/с	4,5
3. Годовое количество осадков, мм	500
4. Объем поверхностных вод, км <sup>3</sup>	30,07
5. Сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию, м <sup>3</sup> /с	953,51

Таблица П.1.1

#### Площади, биомасса и продуктивность биоценозов Свердловской области

Вид биогеоценоза	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Плотность биомассы, т/км <sup>2</sup> [22]	Продуктивность , т/(км <sup>2</sup> · год) [22]	Валовая биомасса, тыс. т	Валовая продукция, тыс. т/год
Леса	135,94	12000	910	1631280,0	123705,4
Пашня	15,75	385	480	6063,75	7560,0
Луга, пастбища	10,4	575	550	5980,0	5720,0
Болота	20,58	1200	510	24696,0	10495,8
Водоемы	2,66	30	350	79,8	931,0
Итого	185,33*	8585,2**	763,8	1668099,6	148412,2

\* Полная площадь, покрытая растительностью.

\*\* Суммарная плотность биомассы, как и продуктивность, получены путем деления сумм валовых показателей на общую площадь территории.

Таблица П.1.2

Объемы выработки свободного кислорода растительными сообществами

Вид биогеоценоза	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Годовая производительность 1 км <sup>2</sup> по кислороду, т	Общий объем производства кислорода, тыс. т
1. Основные лесообразующие породы			
Сосна	40,12	570	22868,4
Ель	18,2	720	13104,0
Пихта	15,6	510	7956,0
Лиственница	0,16	480	76,8
Кедр	7,03	740	5202,2
Береза	36,54	400	14616,0
Осина	6,6	420	2772,0
Ольха черная	0,02	400	8,0
Ольха серая	0,22	400	88,0
Липа	0,52	420	218,4
Ивы древовидные	0,03	400	12,0
2. Пашня	15,75	550	8662,5
3. Пастбище	10,4	450	4680,0
4. Водная поверхность	2,66	100	266,0
Всего (П <sub>в</sub> )	—	—	80530,3

## Приложение 2

Масса выбросов вредных веществ в атмосферу  $m_{атм}^t$ , отходящих  
от автотранспорта и стационарных источников загрязнения

Загрязняющие вещества	$m_{ст}^t$ , тыс. т	$m_{авт}^t$ , тыс. т	$m_{атм}^t$ , тыс. т
Всего	1270,25	522,3	1792,55
в т.ч. твердые, из них:	319,187	4,752	63,918
Свинец и его соединения	0,248	0,052	0,3
Пыль неорганическая, содержащая $SiO_2 < 20\%$	56,861	-	56,861
Сажа	-	4,7	4,7
Твердые фториды	2,057	-	2,057
Газообразные и жидкие, из них:	951,062	438,729	1255,017
Серы диоксид	326,431	5,22	331,651
Оксись углерода	356,859	370,833	727,692
Оксиды азота	132,998	62,676	195,674
ЛОС, в т.ч.	8,0	-	8,0
Бензол	0,2	-	0,2
Ксилол	0,559	-	0,559
Толуол	0,427	-	0,427
Фенол	0,135	-	0,135
Акролеин	0,006	-	0,006
Формальдегид	0,067	-	0,067
Этилбензол	0,003	-	0,003
Углеводороды без ЛОС, в т.ч.:	92,362	-	170,528
Бенз(а)пирен	0,002	-	0,002
Метан	92,181	-	92,181
Углеводороды (автотранспорт)	-	78,345	78,345
Прочие газообразные и жидкие, в т.ч.:	34,413	-	34,413
Аммиак	1,67	-	1,67
Фтористый водород	1,577	-	1,577
Сероводород	0,212	-	0,212
Сероуглерод	0,037	-	0,037

Масса загрязняющих веществ, сброшенных в водные объекты  $m'_{вод}$

Загрязняющие вещества	$m'_{вод}$ , т
Всего	160635,4
Азот аммонийный	2464,0
Взвешенные вещества	11500,0
БПК <sub>полн</sub>	10300,0
Хлориды	68300,0
Сульфаты	62400,0
Фосфор общий	816,1
Железо	305,3
Медь	14,5
Цинк	39,4
Нитраты	4459,6
Марганец	36,5

Масса размещенных токсичных отходов  $m'_{отх}$

Класс опасности токсичных отходов	Размещение токсичных отходов, тыс. т
I класс опасности	0,1
II класс опасности	0,5
III класс опасности	78,1
IV класс опасности	2098,8
Всего	2177,5

## Этапы построения математической модели

№ п/п	Название этапа	Характеристика
1	Постановка задачи	Обобщение возникшей ситуации для достижения какого-либо эффекта. Описание объекта, формулировка вопросов, подлежащих решению, постановка цели исследования. Оценка экономичности вариантов решения поставленных задач.
2	Определение задачи	<p>Этап начинается с идентификации, т.е. определения вида объекта, описания параметров состояния объекта, переменных, характеристик, факторов внешней среды, изучения закономерностей внутренней организации объекта, выделения границ объекта, разработки его структуры.</p> <p>Разработка концептуальной модели, оценивающей положение системы во внешней среде, служащей для определения необходимых ресурсов ее функционирования, оценки влияния факторов внешней среды, определения зависимости между входными и выходными переменными и влияния переменных управляющих воздействий на эти зависимости.</p>
3	Составление математической модели	<p>Этап складывается из нескольких видов работ:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поиск подходящей модели, связывающей переменные и постоянные факторы между собой. С этой целью формулируются следующие понятия: <i>критерий оптимальности</i> – служит для формализации конкретной цели управления объектом и выражается при помощи целевой функции;  <i>целевая функция</i> – характеристика объекта, установленная из условия дальнейшего поиска критерия оптимальности, математически связывающая между собой те или иные факторы объекта исследования;</li> <li><i>ограничения</i> – пределы, сужающие область осуществимых, приемлемых или допустимых решений и фиксирующие основные внутренние и внешние свойства объекта.</li> <li>2. Математическая формализация осуществляется по концептуальной модели;</li> <li>3. Численное представление производится для подготовки ее к реализации на ПК или ЭВМ;</li> <li>4. Анализ модели</li> <li>5. Выбор метода решения.</li> </ol>
4	Вычисления и выдача результатов	<p>При решении задачи необходимо тщательно разобраться с размерностью всех величин, входящих в математическую модель и определить границы, в которых будет лежать искомая целевая функция.</p> <p>Результаты могут выдаваться в устной и письменной формах. Они должны включать в себя краткое описание объекта исследования, цели исследования, математическую модель, основные результаты вычислений, обобщения и выводы.</p>



## Глоссарий

Понятие	Содержание	Примечание
1	2	3
Система	Целостное множество взаимосвязанных элементов, обладающее свойствами, отличными от свойств элементов, образующих это множество	Основные свойства системы: – <i>целостность</i> – наличие связей (взаимосвязей) между элементами, которые закономерно определяют интегративные свойства системы, отличающие ее от простого конгломерата (свойства которого определяются суммой свойств составляющих его элементов); – <i>эмерджентность</i> – способность системы обладать свойствами отсутствующими у ее элементов; – наличие <i>организации</i> , что проявляется в снижении степени неопределенности (энтропии) системы по сравнению с ее элементами и др.
Системный подход	Общий метод исследования объекта как целого, т.е. как совокупности элементов, находящихся во взаимодействии. Это эксплицитное (разъяснительное) выражение процедур представления объектов как систем и способов их описания, объяснения, предвидения и т.п.	Системный подход легко провозглашается в общем виде, но трудно реализуется в конкретной форме
Соц.-экон. система	Сложная вероятностная динамическая система, охватывающая процессы производства, обмена, распределения, потребления материальных и других благ	Относится к классу кибернетических систем (т.е. управляемых), так как имеет комплекс взаимосвязанных элементов с присущим взаимоотношением между элементами и между их атрибутами
Модель	Образ реального объекта (процесса) в материальной форме или описанный знаковыми средствами на каком-либо языке, отражающий существенные свойства моделируемого объекта (процесса) и замещающий его в ходе исследования и управления	Метод моделирования основан на принципе аналогии, т.е. возможности изучения реального объекта не непосредственно, а через рассмотрение подобного ему и более доступного объекта, его модели

1	2	3
Эколого-математические модели	Смешанные модели (логико-математические, математико-иконографические), представляющие определенную совокупность математических зависимостей, логических построений, схем, матриц и т.п., связанных в единую систему, имеющую экологический смысл	<p>Основные принципы моделирования экологических объектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– интегратизм (характеризует возникновение связей между частями целого, при этом, с одной стороны, происходит утрата некоторых свойств части при вхождении в целое, а с другой – появление новых свойств у целого, обусловленных свойствами составных частей);</li> <li>– неопределенность (предполагает, что «по краям» экологические процессы расплывчаты и неопределенны. Протекая во времени, они постоянно изменяются и, если удастся установить какое-либо свойство или качество процесса, то оно действительно только в рассматриваемый момент времени и в данной ситуации);</li> <li>– инвариантность (заключается в том, что модель системы должна быть инвариантна для любых регионов, организационных форм производства и изменения каких-либо условий не должно менять ее существа);</li> <li>– главных видов деятельности (состоит в том, что у разных экологических систем существуют «похожие» виды деятельности, такие как управление, распределение и т.п., которые можно выделить как стандартные. Они бывают неизменными на некотором промежутке времени и могут быть описаны некоторыми похожими моделями)</li> </ul>
Динамическая модель	Учитывает изменение состояния системы в зависимости от времени. В нее часто включаются элементы из статических моделей	Статические и динамические модели относятся к классу детерминистских, главная особенность которых заключается в том, что любой прогноз они формируют в виде числа, а не в виде распределения вероятностей
Концептуальная модель	Является «идеологической» основой будущей математической модели. Отражает состав критериев оптимальности и ограничений, определяющих целевую направленность модели	Перевод на этапе формализации качественных зависимостей в количественные преобразует критерий оптимальности в целевую функцию, ограничения – в уравнения связи, концептуальную модель – в математическую
Факторная модель	Устанавливает логическую связь между параметрами объекта, входными и выходными переменными, факторами внешней среды и параметрами управления, а также учитывает обратные связи в системе	Строится на основе концептуальной модели. Определяет зависимости между входными и выходными переменными и влияние переменных управляющих воздействий на эти зависимости

1	2	3
Поисковый метод	Прогноз определения возможных состояний явления в будущем, отвечающий на вопрос, что вероятнее всего произойдет при условии сохранения действующих тенденций	Методом поискового прогноза является экстраполяция. Суть его заключается в разработке перспективы исходя из практики предшествующих периодов. Однако применение его ограничено лишь для прогнозирования процессов, имеющих более или менее стабильный характер
Оценка риска	Процесс идентификации опасности, оценки воздействия, пути воздействия, оценки зависимости "доза-ответ", характеристики риска	<p><i>Идентификация опасности</i> – идентификация и выявление неблагоприятных эффектов, которые могут возникать под воздействием химического вещества.</p> <p><i>Оценка воздействия</i> – оценка источников и характера выбросов, путей распространения загрязнителей и воздействия химического вещества с целью установления концентраций доз, при которых может иметь место воздействие на человека (окружающую среду).</p> <p><i>Путь воздействия</i> – путь химического вещества или физического агента от источника до экспонируемого организма. Каждый путь воздействия включает источник или выброс из источника, точку воздействия и путь поступления.</p> <p><i>Путь поступления</i> – путь, которым химическое вещество или физический агент вступает в контакт с организмом (т.е. при вдыхании, при глотании, при контакте через кожу).</p> <p><i>Оценка зависимости "доза-ответ"</i> – оценка связи между дозой или уровнем воздействия на организм и частотой или тяжестью эффекта.</p> <p><i>Фактор наклона</i> – наклон кривой канцерогенной функции "доза-ответ" в области низких доз, выражается в мг/кг-день.</p> <p><i>Референтная доза (или референтная концентрация)</i> – оценка (с возможной погрешностью до одного порядка) суточного воздействия химического вещества на население (включая чувствительные подгруппы) которое, вероятно, не сопровождается ощутимым риском вредных воздействий в течение всей жизни (Агентство по охране окружающей среды США)</p>

1	2	3
Опасность	Способность химического вещества или смеси химических веществ вызывать неблагоприятные эффекты для организма человека (или окружающей среды) в зависимости от условий воздействия	
Риск	Вероятность распространения неблагоприятного эффекта на организм человека (или на окружающую среду) в результате воздействия определенной дозы химического вещества или смеси химических веществ	<p><i>Характеристика риска</i> – оценка частоты или тяжести неблагоприятных эффектов, которые могут проявиться у людей.</p> <p><i>Классификация рисков</i> – относительное ранжирование рисков и оценка рисков с целью выбора требуемой стратегии уменьшения риска.</p> <p><i>Уменьшение риска</i> – предполагает проведение мероприятий, направленных на охрану людей или/и окружающей среды от определенных видов риска.</p>

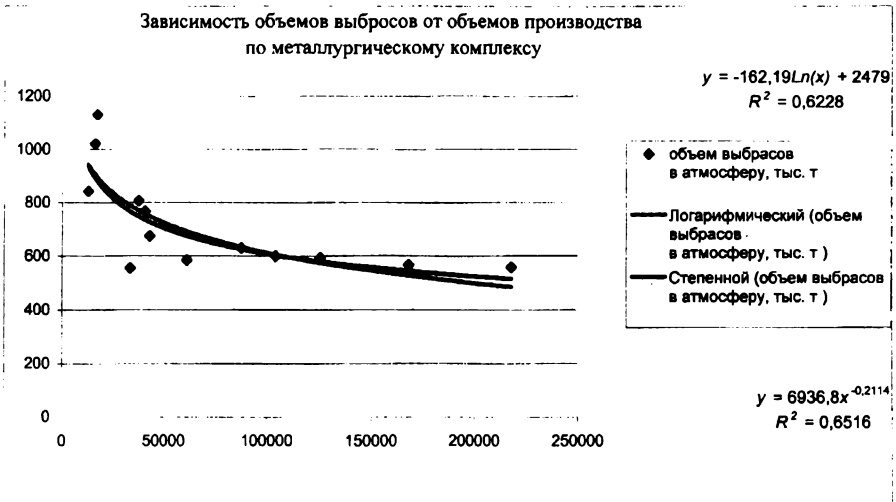


Рис. П.5.1. Изучение вида связи между объемами загрязнения и объемами производства (металлургический комплекс)



Рис. П.5.2. Характеристика тренда удельных выбросов

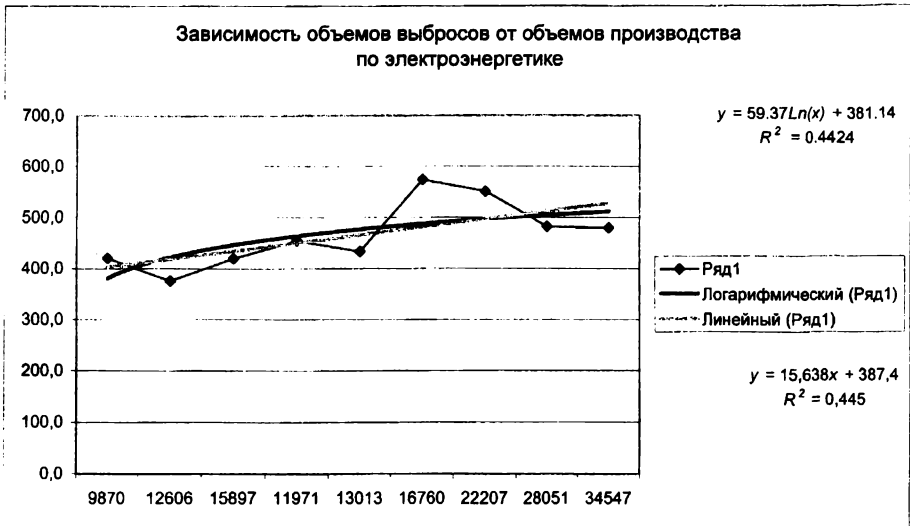


Рис. П.6.1. Изучение вида связи между объемами загрязнения и объемами производства (электроэнергетика)



Рис. П.6.2. Характеристика тренда удельных выбросов

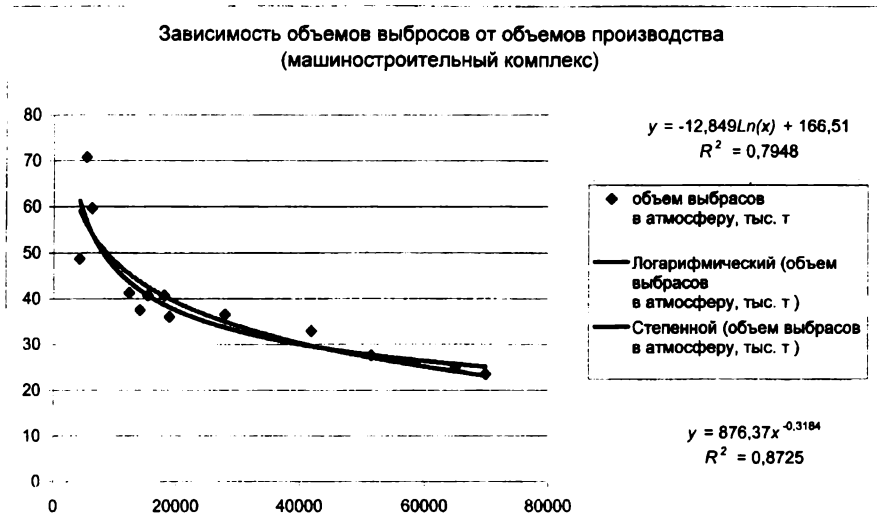


Рис. П.7.1. Изучение вида связи между объемами загрязнения и объемами производства (машиностроительный комплекс)

Матричная модель оценки загрязнения атмосферы, водных ресурсов, почвы, поступающих от базовых отраслей

Среды загрязнения	Суммарные загрязнения по отраслям				Ограничения по отраслям
	$y_1 = E_1 X_1$	$y_2 = E_2 X_2$	...	$y_5 = E_5 X_5$	
$J_{\text{атм}}^{\text{уд}}$	$J_{11} X_1$	$J_{12} X_2$		$J_{15} X_5$	$\sum E_{\text{атм},j} X_j \leq J_{\text{атм}}^{\text{уд}}$
$J_{\text{вод}}^{\text{уд}}$	$J_{21} X_1$	$J_{22} X_2$		$J_{25} X_5$	$\sum E_{\text{вод},j} X_j \leq J_{\text{вод}}^{\text{уд}}$
$J_{\text{почв}}^{\text{уд}}$	$J_{31} X_1$	$J_{32} X_2$	...	$J_{35} X_5$	$\sum E_{\text{почв},j} X_j \leq J_{\text{почв}}^{\text{уд}}$

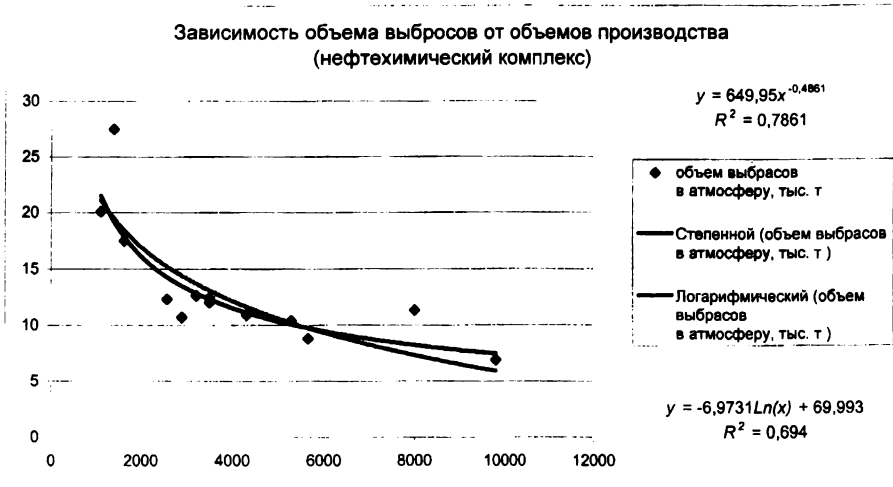


Рис. П.8.1. Изучение вида связи между объемами загрязнения и объемами производства (нефтехимический комплекс)

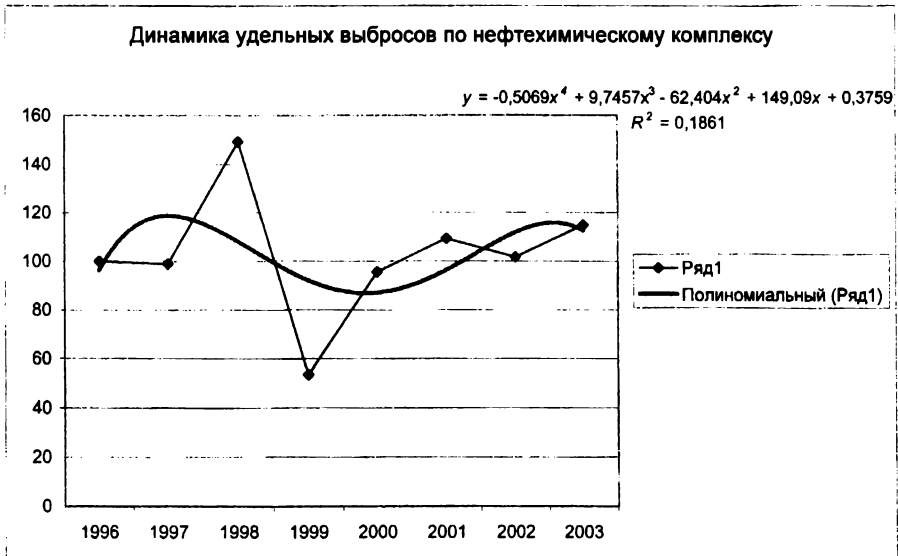


Рис. П.8.2. Характеристика тренда удельных выбросов



## Приложение 9

Значение коэффициента  $f$  в зависимости от высоты источника загрязнения ( $h$ ) и среднегодового значения разности температур в устье источника и окружающей атмосфере на уровне устья ( $\Delta T$ )

$h, \text{ м}$ $\Delta T, \text{ }^{\circ}\text{C}$	0	10	20	50	100	150	200	250	300	350	400
0	1,0/4,08	0,91/3,78	0,83/3,54	0,67/3,02	0,5/2,5	0,4/2,18	0,33/1,96	0,29/1,8	0,25/1,67	0,22/1,56	0,20/1,47
25	1,0/4,08	0,88/3,69	0,79/3,4	0,6/2,81	0,43/2,28	0,33/1,96	0,27/1,75	0,23/1,6	0,2/1,48	0,18/1,38	0,16/1,3
50	1,0/4,08	0,86/3,61	0,75/3,27	0,55/2,64	0,38/2,1	0,29/1,79	0,23/1,59	0,19/1,45	0,17/1,34	0,15/1,25	0,13/1,17
75	1,0/4,08	0,83/3,54	0,71/3,16	0,5/0,25	0,33/1,96	0,25/1,67	0,2/1,47	0,17/1,34	0,14/1,23	0,13/1,15	0,11/1,08
100	1,0/4,08	0,81/3,46	0,68/3,06	0,46/2,38	0,3/1,85	0,23/1,57	0,18/1,38	0,15/1,25	0,13/1,15	0,11/1,07	0,1/1,01
125	1,0/4,03	0,79/3,39	0,65/2,97	0,43/2,27	0,27/1,76	0,2/1,48	0,16/1,3	0,13/1,18	0,11/1,08	0,1/1,01	0,09/0,95
150	1,0/4,08	0,77/3,33	0,63/2,89	0,4/2,18	0,25/1,67	0,18/1,4	0,14/1,23	0,12/1,11	0,1/1,02	0,09/0,95	0,08/0,89

Приведенные в числителе значения  $f$  следует применять для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц со скоростью оседания менее 1 см/с, а также частиц, выбрасываемых после пылеочистки с коэффициентом улавливания свыше 90 %.

Приведенные в знаменателе значения  $f$  следует применять:

- для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с, а также выбрасываемых после пылеочисток с коэффициентом улавливания 70-90 %;
- для частиц, образующихся при сжигании жидких и газообразных топлив, несопровождающихся быстрой конденсацией аэрозолей.

Независимо от значений  $h$  и  $\Delta T$  значение коэффициента  $f = 10$  следует принимать:

- для частиц, оседающих со скоростью свыше 20 см/с, либо выбрасываемых после пылеочисток с коэффициентом улавливания ниже 70 %;
- при выбросе вредных примесей и частиц одновременно с парами воды или других веществ, сопровождающихся быстрой конденсацией.

**Зависимости «доза – ответ», полученные  
в эпидемиологических исследованиях**

Вещество	Эффект
1	2
Азот диоксида	<p>Увеличение частоты случаев появления симптомов со стороны верхних дыхательных путей у детей</p> <p>Увеличение продолжительности периодов обострения заболеваний верхних дыхательных путей у детей</p> <p>Увеличение частоты заболеваний нижних дыхательных путей у детей</p>
Взвешенные вещества	<p>Число детей с нарушенной функцией легких (FVC или FEV1 менее 85 % от должной величины)</p> <p>Число детей и подростков, страдающих бронхитом (возраст менее 18 лет)</p> <p>Число дней с острыми респираторными симптомами</p> <p>Число дней с ограниченной активностью (для взрослых)</p> <p>Число дней с обострениями бронхиальной астмы</p> <p>Частота симптомов со стороны верхних отделов дыхательных путей</p> <p>Частота симптомов со стороны нижних отделов дыхательных путей (частота кашля, человеко-дни)</p> <p>Частота применения бронходилататоров (человеко-дни)</p> <p>Обращаемость за скорой медицинской помощью</p> <p>Обращаемость по поводу заболеваний сердца</p> <p>Обращаемость по поводу респираторных заболеваний</p> <p>Развитие острого бронхита (дети и подростки)</p> <p>Развитие хронического бронхита (для лиц в возрасте 25 лет и более)</p> <p>Частота обострения бронхиальной астмы</p> <p>Заболеваемость пневмонией</p> <p>Общая смертность</p> <p>Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний</p> <p>Смертность от заболеваний органов дыхания</p>
Кадмий	Концентрация кадмия в биосубстратах, нефропатия
Озон	<p>Обращаемость за скорой медицинской помощью</p> <p>Изменений функций легких</p> <p>Общая смертность</p>
Свинец	<p>Концентрация свинца в крови плода, детей, мужчин, женщин</p> <p>Снижение интеллекта у детей</p> <p>Неонатальная смертность</p> <p>Гипертензии</p> <p>Заболевания коронарных сосудов сердца</p> <p>Инсульт</p> <p>Преждевременная смертность от сердечно-сосудистых заболеваний</p>

1	2
Сера диоксид	Частота приступов у астматиков Обращаемости за скорой медицинской помощью по поводу респираторных заболеваний лиц в возрасте 65 лет и более Увеличение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний Увеличение смертности от заболеваний органов дыхания Увеличение общей смертности
Углерод оксид	Содержания карбоксигемоглобина в крови Частота приступов у некурящих больных стенокардией в возрасте 35-37 лет (снижение межприступного периода, %) Обращаемость по поводу заболеваний сердца (в возрасте 65 лет и более)
Канцерогены	Индивидуальные и популяционные пожизненные канцерогенные риски

*Научное издание*

Выварец Александр Дмитриевич

Белик Ирина Степановна

Степанова Наталья Владимировна

Леонтьева Юлия Владимировна

Никулина Наталья Леонидовна

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ**

Редактор *Н.В. Рощина*

---

Подписано к печати . . . 2006

Формат 60 × 84 1/16

Бумага типографская. Печать цифровая

Уч.-изд. л. 5,5

Усл. печ. л. 6,2

Тираж 100 Заказ 542

Цена «С»

---

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19